

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»
ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»
Группа предприятий «Пермская целлюлозно-бумажная компания»
Акционерное общество «Соликамскбумпром»
ООО «Красный Октябрь»



Красный Октябрь

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ В ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ И ЛЕСОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Сборник материалов VII Всероссийской отраслевой
научно-практической конференции
г. Пермь, 22-23 апреля 2019 г.



Екатеринбург
2019

УДК 676: 674/ 630

ББК 34:43

П27

- П27 Перспективы развития техники и технологий в целлюлозно-бумажной и лесоперерабатывающей промышленности: матер. VII Всерос. отраслевой науч.-практ. конф. – г. Пермь, 22-23 апреля 2019 г. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2019. – 104 с.

ISBN 978-5-94984-717-6

Отражены основные результаты теоретических и прикладных разработок, перспективных исследований ученых и специалистов в области эффективных ресурсосберегающих технологий, экологии, эксплуатации технологического оборудования предприятий целлюлозно-бумажной и лесоперерабатывающей промышленности. Представлен инновационный опыт образовательных учреждений и предприятий ЦБП в подготовке квалифицированных кадров для отрасли.

Рекомендовано к печати редакционно-издательским советом Уральского государственного лесотехнического университета.

УДК 676: 674/630

ББК 34:43

Редакционная коллегия

Е.А. Глезман, канд. экон. наук, исп. директор ГП ПЦБК, Е.П. Писоцкая, директор по персоналу АО «Соликамскбумпром», Н.В. Куцубина, канд. техн. наук, руководитель проекта «Базовая кафедра УГЛТУ в АО «Соликамскбумпром», А.А. Санников, д-р техн. наук, профессор УГЛТУ; А.В. Вураско, д-р техн. наук, зав. кафедрой УГЛТУ; В.П. Сиваков, д-р техн. наук, профессор УГЛТУ

Ответственные за выпуск – Н.В. Куцубина, В.В. Васильев

ISBN 978-5-94984-717-6

© ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Акулов Б.В., Вилисова Е.А. Исследование изменений бумагообразующих свойств первичных волокон при их неоднократном использовании	5
Байрамова С.Э., Сакаева Э.Х., Рудакова Л.В. Применение микроскопических водорослей в технологиях биологической очистки сточных вод от трудноокисляемых примесей и биогенных элементов	8
Пономарев Н.Ю., Широков А.А. Модернизация системы сбора и удаления сточных вод КБЦ-2	11
Брюханов Д.В., Исаков С.Н. Исследование гидродинамических процессов в маслоте централизованной системы смазки БДМ	15
Герасимова А.Д., Сафонова М.Е., Быкова О.В., Артемов А.В., Савиновских А.В., Буриндин В.Г. Рекультивационный грунт из осадков биологической очистки ЦБК для биоразложения полимерных материалов	17
Горошков А.И., Вялых И.А. Повышение качества целевого продукта на БДМ-2300 ООО «Прикамский картон»	20
Даденков Д.А., Суслов К.Ю. Моделирование технологического процесса учебно-экспериментальной установки	23
Забокрицкий А.А., Вураско А.В. Теоретические исследования по оценке возможности использования биологического метода для разложения и утилизации промышленных отходов, образующихся на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности	28
Калинин И.С., Шульга Н.А., Петроченков А.Б., Куцубина Н.В., Овсянников М.В., Осинских И.В. О построении сетевой магистерской программы в области программно-аппаратного моделирования	32
Михайлова А.М., Глушанкова И.С. Обоснование выбора реагентов для очистки сточных вод целлюлозно-бумажного производства от лигнин- и серосодержащих соединений	38
Мкртычян А.И., Мидуков Н.П., Куров В.С., Смолин А.С. Перспектива использования технологии трехслойного формирования тест-лайнера с белым покровным слоем в России	44
Моисеева Л.Р., Сиваков В.П. Инженерное обоснование тары для молочно-кислой продукции	48
Ершова А.С., Змеева А.И., Шраер А.В., Савиновских А.В., Артемов А.В., Буриндин В.Г. Утилизация коры сосны с получением древесного пластика без связующего	53
Нелюбина Т.А., Глезман Е.А. Управление нелинейным производственным проектом на примере модернизации картоноделательной машины	56
Носкова О.А., Сахно Н.В., Некрасова Е.Ю., Бритвина А.О. Получение порошковой целлюлозы из беленой сульфатной целлюлозы	62
Панькова Е.И., Слюсарь Н.Н. Результаты внедрения эко-программы «Зеленый политех» в Пермском национальном исследовательском политехническом университете	67
Пен Р.З., Каретникова Н.В., Чендылова Л.В. Измерение облачности просвета бумаги	70
Насырова К.С., Санников А.А., Васильев В.В. Статистический метод нормирования вибрации подшипников качения сушильных цилиндров БМ	72
Радинская К.П., Куцубина Н.В., Сиваков В.П. Определение тепловых потерь в сушильных цилиндрах при температурном диагностировании	75
Соловьева А.С., Сакаева Э.Х. Интенсификация биологической очистки сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности при вспухании активного ила	79

Теплоухова М.В., Артемьева А.В., Андраковский Р.Э. Исследование свойств бумаги для гофрирования	83
Удальцов В.А., Вураско А.В. Процесс растворения компонентов древесины березы при двух различных температурах варки в системе гидроксид калия – гидразин – изобутиловый спирт – вода	87
Хакимова Ф.Х., Носкова О.А., Житнюк В.А., Пирожкова Ю.В. Утилизация отходов от химической и механической переработки древесины	91
Попов В.В., Сиваков В.П. Исследовательский проект вибрационного уплотнения технологической щепы в варочном котле	96
Чудинов С.А. Применение целлюлозных волокнистых добавок для повышения качества покрытий лесовозных дорог	100



УДК 676.038.2/026.72

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ БУМАГООБРАЗУЮЩИХ СВОЙСТВ ПЕРВИЧНЫХ ВОЛОКОН ПРИ ИХ НЕОДНОКРАТНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ

Акулов Б.В.¹, Вилисова Е.А.¹¹ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский
политехнический университет», г. Пермь

Ключевые слова: волокнистые полуфабрикаты, цикличность, бумагообразующие свойства, макулатура.

Аннотация. Проведены исследования по влиянию цикличности использования первичных полуфабрикатов на бумагообразующие свойства. По полученным данным приводится вывод о целесообразности использования различных полуфабрикатов в зависимости от циклов использования.

RESEARCH OF CHANGES IN PAPER-FORMING PROPERTIES OF PRIMARY FIBERS AT THEIR REPEATED USE

Akulov B.V.¹, Vilisova E. A.¹¹Perm national research polytechnic university, Perm

Key words: fibrous semi-finished products, cyclical, paper forming properties, waste paper.

Abstract. Studies have been conducted on the effect of the cyclical use of primary semi-finished products on paper-forming properties. According to the data obtained, it is concluded that it is advisable to use different semi-finished products depending on the cycles of use.

Изучение вопроса цикличного использования макулатурного сырья затруднено. Это связано с тем, что при исследовании классическим методом изменяют только один фактор. При применении вторичного волокнистого сырья, кроме изучаемого, неизбежно меняются и другие факторы. Такими факторами будут: используемая композиция, тип и расход наполнителя, связующих и проклеивающих веществ. Влияние на исследование могут оказывать также режимы размола целлюлозы, отлива и сушки бумажного полотна и других процессов, проводимых в бумажной промышленности. Поэтому целесообразно в качестве объекта исследовать первичные полуфабрикаты, а не промышленную макулатуру [1].

Волокна макулатуры (вторичные) по своим морфологическим и физико-химическим свойствам значительно отличаются от первичных волокон. Вторичные волокна прошли не менее одного цикла переработки, в котором были процессы измельчения и сушки. Основные изменения происходят после прохождения волокнами процесса сушки. После этого процесса с волокнами происходят необратимые изменения: основная часть капилляров и пор разрушается, сжимается и ороговеивает поверхность волокна. Такая поверхность препятствует прониканию воды внутрь волокна, а значит и его набуханию. Из-за ороговления уменьшается удельная поверхность волокна. Это способствует частичной потери способности к образованию химических связей, что является основной причиной снижения бумагообразующих свойств волокон из вторичного сырья.

Физико-механические свойства бумаги из волокон макулатуры значительно отличаются от первичных целлюлозных волокон и волокон древесных масс. Снижение бумагообразующих свойств вторичных волокон происходит с каждым последующим циклом переработки. Для исследования были выбраны три вида волокнистых полуфабрикатов: термомеханическая масса (ТММ), дефибрерная древесная масса (ДДМ) и бисульфитная целлюлоза (состоящая из 50 % хвойной и 50 % лиственной целлюлозы).

При выполнении работы полуфабрикаты замачивались для набухания волокон в холодной воде, затем разбивались в дезинтеграторе до исчезновения комков, после чего на листоотливном аппарате изготавливались отливки массой 100 г/м^2 , которые испытывали на механическую прочность (сопротивление разрыву, сопротивление раздиранию и сопротивление излому). Число циклов переработки – пять.

Целью первого этапа работы стало изучение изменений бумагообразующих свойств бисульфитных целлюлозных волокон при их неоднократном использовании без проведения стадии размола. Это позволило исследовать влияние цикличности на свойства самих волокон без разработки поверхности, происходящей в процессе размола. Результаты испытаний неразмолотой бисульфитной целлюлозы приведены на рисунке 1.

Анализируя кривые физико-механических показателей целлюлозы можно наблюдать снижение разрывной длины на 65,0 %, сопротивление раздиранию на 40,0 %, а сопротивление излому на 93,0 % при увеличении цикличности. При этом показатели сопротивления излому и разрывной длины на первых циклах переработки резко снижаются. Сопротивление раздиранию снижается только после второго цикла использования. Такое интенсивное снижение прочностных характеристик, возможно, связано с тем, что волокна целлюлозы были неразработанными.

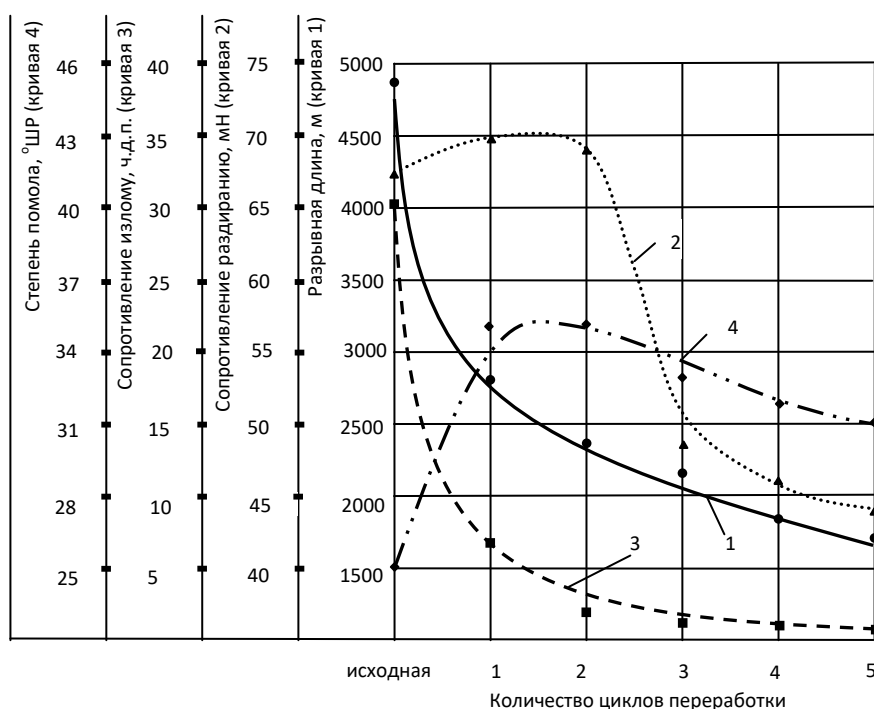


Рисунок 1 –Зависимость степени помола и физико-механических показателей неразмолотой бисульфитной целлюлозы в зависимости от количества циклов переработки

На графике наблюдается повышение степени помола после первого и второго циклов переработки с 25 до 34 °ШР, в дальнейшем происходит снижение этого показателя до 31 °ШР.

Результаты испытаний по термомеханической массе приведены на рисунке 2. Анализируя физико-механические показатели ТММ можно наблюдать снижение разрывной длины на 50,0 %, сопротивление изгибу на 55,0 % и сопротивление раздиранию на 65,0 % с увеличением цикличности переработки. При этом сопротивление изгибу и раздиранию, а также разрывная длина снижаются в течение всех пяти циклов использования.

Это, возможно, связано с тем, что ороговевшие волокна ТММ при дальнейшей переработке больше укорачиваются.

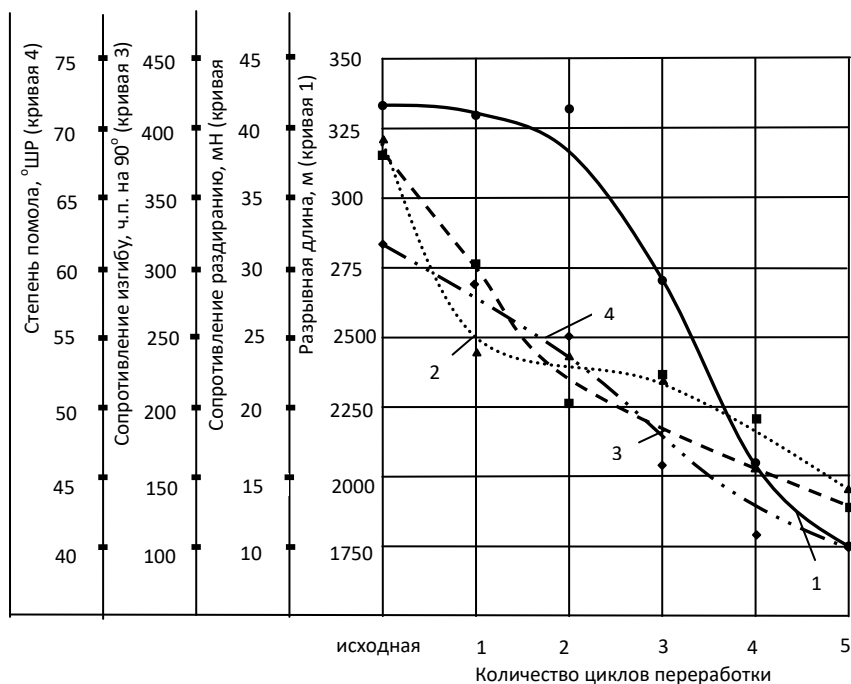


Рисунок 2 – Зависимость степени помола и физико-механических показателей ТММ в зависимости от количества циклов переработки

Графическое изображение степени помола показывает, что этот показатель снижается с 62 до 40 °ШР. В этом случае наблюдается другая зависимость по сравнению с целлюлозой.

Результаты испытаний ДДМ приведены на рисунке 3. Анализируя физико-механические показатели ДДМ можно прийти к следующему выводу: при увеличении цикличности происходит снижение сопротивлению раздиранию на 10,0 %, сопротивление изгибу на 14,0 % и разрывной длины на 21,0 %. Разрывная длина снижается после четвертого цикла переработки, сопротивление изгибу после первого цикла использования, а сопротивление раздиранию после третьего цикла.

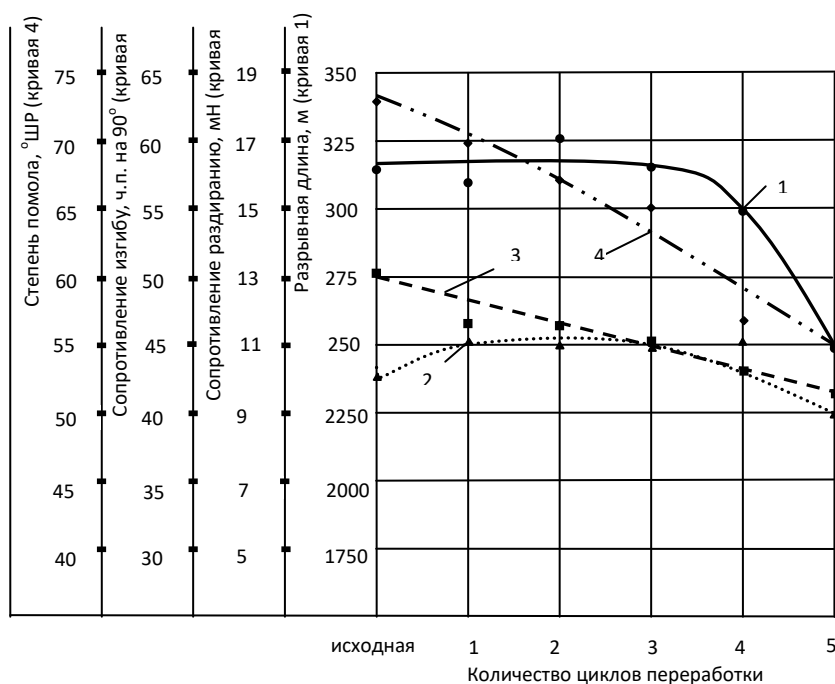


Рисунок 3 – Зависимость степени помола и физико-механических показателей ДДМ в зависимости от количества циклов переработки

Показатель степени помола снижается с 73 до 55 °ШР. Причины снижения этого показателя, вероятно, такие же, как в случае с ТММ.

По исследованию первичных полуфабрикатов, можно сделать следующие выводы.

Неразмолотая бисульфитная целлюлоза подвержена существенным изменениям при циклическом использовании. Древесная масса сохраняет приемлемые показатели механической прочности: ТММ до третьего цикла использования, а ДДМ до четвертого.

Таким образом, полуфабрикаты с повышенным содержанием лигнина (ТММ, ДДМ), менее подвержены влиянию многократного использования, что позволяет несколько раз использовать их без значительного снижения механической прочности. Для вывода по целлюлозным волокнам необходимо продолжать исследования с использованием различной степени помола перед циклами.

Список литературы

1. Кулешов А.В., Смолин А.С., Комаров В.И., Казаков Я.В. Изменение основных характеристик целлюлозных волокон при их циклическом использовании//Целлюлоза. Бумага. Картон. – М.– 2008. – №3. – С. 48-50.

УДК 504.4.054

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ВОДОРОСЛЕЙ В ТЕХНОЛОГИЯХ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ТРУДНООКИСЛЯЕМЫХ ПРИМЕСЕЙ И БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Байрамова С.Э.¹, Сакаева Э.Х.¹, Рудакова Л.В.¹
¹ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский
 политехнический университет», г. Пермь

Ключевые слова: сточные воды, биологическая очистка, микроскопические водоросли, трудноокисляемые примеси.

Аннотация. Проанализированы возможности применения микроскопических водорослей при биологической очистке сточных вод, которые содержат трудноокисляемые органические вещества и биогенные элементы, на примере отечественных и зарубежных исследований. Проведена оценка эффективности биологических способов очистки с использованием штаммов одноклеточных водорослей на различных производственных предприятиях.

THE USE OF MICROSCOPIC ALGAE IN THE TECHNOLOGIES OF BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT FROM DIFFICULT TO OXIDIZE IMPURITIES AND BIOGENIC ELEMENTS

Bayramova S.E.¹, Sakaeva E.H.¹, Rudakova L.V.¹
¹Perm national research polytechnic university, Perm

Key words: wastewater, biological treatment, microscopic algae, difficult to oxidize impurities.

Abstract. Analyzed the possibility of using microscopic algae in biological wastewater treatment, which contain difficult to oxidizable organic substances and biogenic elements, on the example of domestic and foreign studies. The evaluation of the effectiveness of biological purification methods using strains of unicellular algae at various industrial plants.

В настоящее время актуальной экологической проблемой является очистка промышленных сточных вод, содержащих значительное количество загрязняющих веществ, до требуемых нормативов сброса в поверхностные водные объекты.

На многих предприятиях химической и нефтехимической промышленности сточные воды, содержащие нефтепродукты, фенолы, жирные кислоты, различные углеводороды, спирты, альдегиды, кетоны, эфиры, азот- и серосодержащие соединения, поверхностно-активные вещества, поступают на биологические очистные сооружения [3]. В процессе биологической очистки некоторые органические вещества, являясь трудноокисляемыми, не подвергаются деструкции и поступают в водоем – приемник сточных вод в неизменном виде. Легкоокисляемые органические вещества в процессах аммонификации и нитрификации трансформируются в простые соединения, в том числе нитраты и фосфаты, являющиеся биогенами. Поступление в природные водные объекты органических веществ и биогенных элементов приводит с одной стороны к смене зон сапробности водоема, с другой к эвтрофикации, что значительно ухудшает экологическое состояние природной экосистемы.

Решение проблемы достигается различными способами: внедрением новых технологий и технических решений в области биологической очистки сточных вод, приемами интенсификации процесса очистки. Повышение эффективности очистки может быть достигнуто проведением организационных мероприятий, направленных на управление потоками сточных вод, сочетанием физико-химических и биологических методов обработки сточных вод и активного ила, как до, так и после очистки, совершенствованием биологических методов. Выбор того или иного метода зависит от многих факторов и осуществляется по ряду критериев, в том числе экономическому. Зачастую этот критерий является приоритетным и не позволяет на практике реализовать наиболее эффективный прием интенсификации. В связи с этим поиск и внедрение в практику очистки экономически целесообразных и приемлемых по эффективности методов очистки и доочистки сточных вод представляет большой научный и практический интерес.

Цель работы заключалась в оценке по имеющимся литературным данным возможности применения в биологической очистке сточных вод, содержащих органические вещества и биогенные элементы, микроскопических водорослей, способных использовать биогенные элементы в качестве элементов питания.

Анализ литературных источников свидетельствует о многочисленных исследованиях в данном направлении, проводимых как отечественными, так и зарубежными учеными. Многими исследователями показана эффективность применения микроскопических водорослей на различных этапах очистки сточных вод – и в основной технологии, и на завершающих этапах для удаления биогенных элементов [1,2]. Большинство исследований по интенсификации процесса биологической очистки сточных вод проведено с использованием штамма одноклеточной зеленой водоросли *Chlorella vulgaris*. Использование данного штамма обусловлено несколькими причинами: высоким уровнем адаптации *Chlorella vulgaris* к сточным водам с различными физико-химическими свойствами, относительной простотой и экономичностью культивирования штамма, эффективностью удаления биогенных элементов.

Известен способ доочистки промышленных сточных вод с использованием штамма *Chlorella vulgaris*, заключающийся во введении культуры в очищенные сточные воды с последующим их выпуском в водоем, в котором одноклеточные водоросли способствуют биологическому восстановлению водоема [2].

Применение штамма *Chlorella vulgaris* дает положительные результаты при очистке сточных вод, особенно хозяйственно-бытовых. Высокая эффективность достигается при введении биомассы *Chlorella vulgaris* во вторичные отстойники [4].

Британскими учеными была дана оценка потенциалу использования микроводорослей *Chlorella vulgaris* для доочистки городских сточных вод от ионов аммония, фосфат-ионов, снижения показателя ХПК в условиях статической культуры.

С целью повышения доступности оксида углерода для водорослей и уменьшения негативного влияния недостатка освещенности, вызванного высоким содержанием взвешенных

веществ и высокой мутностью очищаемых сточных вод, было исследовано влияние экзогенного органического и неорганического углерода на рост микроводорослей и эффективность очистки.

Установлено, что для всех исследуемых вариантов обогащение сточных вод органическим углеродом в присутствии *C. vulgaris* приводило к постоянно высокой эффективности окисления органических веществ (> 90%) до аммиака и фосфатов, независимо от начальной концентрации этих неорганических веществ в сточных водах.

Увеличение содержания неорганического углерода не оказало существенного влияния на процессы биоокисления и удаления биогенных соединений, вследствие чего был сделан вывод о том, что лимитирующим фактором в процессе биологической очистки с использованием микроскопических водорослей служит содержание органического углерода в очищаемой сточной воде [4]. В процессе исследований установлено необходимое время контакта очищаемых сточных вод, обогащенных органическим углеродом, с микроскопическими водорослями *C. vulgaris* (2 сут.), позволяющее эффективно снизить содержание ионов аммония, фосфат-ионов, содержание органических веществ по ХПК. Кроме того, установлено, что при понижении температуры воды, эффективность процесса очистки не снижается [4].

Кроме *Chlorella vulgaris* в технологиях биологической очистки применяются зеленые нитчатые водоросли, например *Cladophora sp.*, характеризующаяся высокой поглотительной способностью по отношению к аммонийному азоту, нитрат- и фосфат-ионам, к тяжелым металлам (цинк, кадмий, свинец). Есть данные о возможности применения одноклеточной зеленой водоросли рода *Chlamydomonas* для удаления из воды растворенных органических веществ. Известно применение смешанных культур водорослей в процессах биологической очистки, в частности в биологических прудах.

Поскольку микроскопические водоросли являются фотосинтезирующими организмами, то при усвоении соединений азота и фосфора наблюдается значительный прирост биомассы. По мнению авторов, генерируемая биомасса может быть преобразована в энергию или дополнительное сырье после соответствующей обработки, что дает преимущества в ее использовании и повышает интерес к технологии на основе микроводорослей для очистки сточных вод от биогенных элементов [4].

Несмотря на преимущества технологий биологической очистки с использованием микроскопических водорослей, стадию использования водорослей нельзя назвать самостоятельной и можно рассматривать только в качестве этапа доочистки [5].

Анализ результатов научных исследований в области применения одноклеточных водорослей для биологической очистки сточных вод показал, что данный метод может быть использован для интенсификации процесса удаления трудноокисляемых органических веществ и биогенных элементов. В то же время в литературе недостаточно данных о механизмах извлечения загрязняющих веществ, особенно трудноокисляемых, не решен вопрос о критериях выбора чистой или смешанной культур водорослей для процесса биологической очистки, их эффективных дозах, способах внесения. Не достаточно информации о применении микроводорослей при очистке сточных вод в аэротенке. Отсутствуют технические и технологические параметры работы таких сооружений, не установлены зависимости эффективности очистки сточных вод в присутствии микроскопических водорослей от абиотических и биотических факторов, которыми характеризуется экосистема активного ила в аэротенках. В связи с изложенным, исследования направленные на разработку технических и технологических решений, позволяющих эффективно использовать микроскопические водоросли в сочетании с традиционными физико-химическими и биологическими методами очистки представляет собой важную актуальную задачу и может являться предметом дальнейшего научного исследования.

Список литературы

1. Богданов Н.И. Биологические основы предотвращения «цветения» Пензенского водохранилища синезелеными водорослями//2-е издание. - Пенза: РИО ПГСХА, 2007. – 128 с.

2. Богданов Н.И. Штамм микроводоросли *Chlorella vulgaris* BIN для получения биомассы и очистки сточных вод: пат. Рос. Федерации № 2192459. Бюл. №31, 2002. – 130 с.
3. Зайцева Т.А. Рудакова Л.В., Белик Е.С. Биологическая очистка сточных вод в аэротенках. - Пермь : Изд-во Перм.нац.исслед.политехн.ун-та, 2015. – 226 с.
4. Laura E. Christianson, Christine Lepine, Kata L. Sharrer, Steven T. Summerfelt Denitrifying bioreactor clogging potential during wastewater treatment. – USA, 2016 – С.147-156.
5. Laurence Evansa, Sebastian J. Hennige, Nik Willoughby, Adebayo J. Adeloye, Michael Skroblin, Tony Gutierrez. Effect of organic carbon enrichment on the treatment efficiency of primary.- Edinburgh, 2017.- С.368-377.

УДК 676

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ СБОРА И УДАЛЕНИЯ СТОЧНЫХ ВОД КБЦ-2

Пономарев Н.Ю.¹, Широков А.А.¹

¹ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь

Ключевые слова: автоматизированные системы управления, асинхронный двигатель, частотное регулирование.

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы реализации частотного регулирования электроприводом насоса канализационной насосной станции. Предложенная система управления предусматривает установление режима работы насоса в соответствии с поступлением в резервуар сточных вод. Приводятся результаты моделирования системы автоматического регулирования

MODERNIZATION OF THE SYSTEM FOR THE COLLECTION AND REMOVAL OF WASTE WATER OF CSC-2

Ponomarev N.Y.¹, Shirokov A.A.¹

¹Perm national research Polytechnic University, Perm

Key words: automated control systems, asynchronous motor, frequency regulation.

Abstract. The article deals with the implementation of frequency regulation of the pump of a sewage pumping station by an electric drive. The proposed control system provides for the establishment of the mode of operation of the pump in accordance with the flow into the tank wastewater. The results of the automatic control system simulation are given.

Существующая автоматизированная система сбора и удаления канализационных стоков картонно-бумажного цеха №2 на предприятии ООО «Прикамский Картон» имеет ряд недостатков. Одним из основных недостатков является повторно-кратковременный режим электродвигателя насоса [1]. Решение этой проблемы и ряда сопутствующих возможно за путем введения в контур управления тиристорного преобразователя частоты.

Конструктивно система сбора и удаления канализационных стоков будет состоять из следующих элементов: резервуар; датчик уровня жидкости в резервуаре; центробежный насос; асинхронный двигатель; частотный преобразователь.

Задача регулирования уровня жидкости в резервуарах для различных технологических нужд встречается довольно часто [2]. Однако данная задача имеет ряд особенностей.

Резервуар заполняется жидкостью потоком, не регулируемым системой и имеющим вероятностный характер. При этом, опытные данные показывают, что колебание потока сточных вод варьируется в пределах 25% от значения, принимаемого в расчетах.

Регулирование скорости вращения двигателя и, соответственно, производительности насоса должно поддерживать заданный уровень жидкости, не допуская переполнения или осушения резервуара.

Структурная схема, отображающая все необходимые функциональные блоки и связи между ними, представлена на рисунке 1.

Приведем описание работы системы автоматического регулирования (САР). Скорость вращения ω вала асинхронного двигателя (АД) с короткозамкнутым ротором через соединительную муфту передаётся на вал насосного агрегата, приводя его в работу и регулируя производительность Q на выходе насоса. Посредством изменения производительности насоса регулируется уровень сточных вод h в резервуаре.

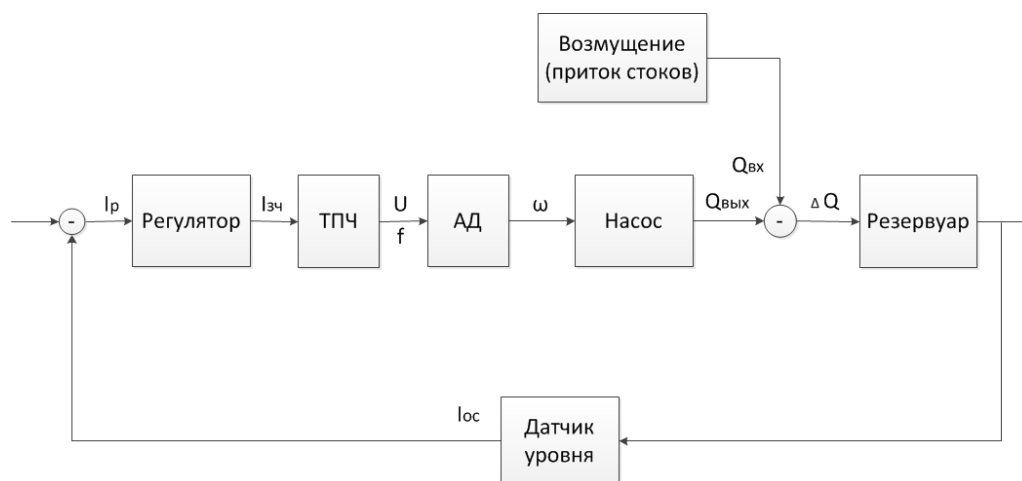


Рисунок 1 – Функциональная схема САР уровня стоков в резервуаре

Уровень стоков в резервуаре контролируется датчиком уровня, работающим по аналоговому принципу. Сигнал уровня сравнивается с уставкой, задаваемой извне и определяющей контролируемый уровень в резервуаре. На вход тиристорного преобразователя частоты (ТПЧ) подаётся сигнал задания частоты $I_{зч}$. На выходе ТПЧ – пропорционально изменяющиеся частота f и напряжение U . Посредством изменения питающей частоты и напряжения ТПЧ осуществляет управление асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором, который приводит во вращение насос, откачивающий сточные воды из резервуара.

В процессе автоматического регулирования требуется непрерывно отслеживать текущее состояние регулируемого параметра. Эту функцию выполняет датчик уровня жидкости. На его вход непрерывно поступает физическая величина измеряемого параметра – уровень сточных вод в резервуаре h , а на выходе – унифицированный аналоговый сигнал обратной связи в форме тока $I_{ос}$ ($4 \div 20$ мА) или напряжения $U_{ос}$ ($0 \div 10$ В).

Для выполнения функций автоматического регулирования уровня в состав САР вводится регулятор. Он представляет собой вычислительное устройство, позволяющее с заданным быстродействием контролировать параметры объекта и в реальном времени рассчитывать управляющие воздействия. Входы регулятора принимают сигналы задания $I_3(U_3)$ и обратной связи $I_{ос}(U_{ос})$, а на его выходе формируется сигнал управления ТПЧ – $I_{зч}$.

Математическое описание САР. С целью анализа и программной реализации контура автоматического регулирования необходимо с учётом характеристик выбранной аппаратуры перейти от функциональной схемы к алгоритмической структурной схеме САР. Для этого отдельные функциональные блоки представляются в виде типовых звеньев.

Резервуар (объект регулирования) на структурной схеме представлен как идеальное интегрирующее звено. Передаточная функция объекта:

$$W_0 = \frac{k_0}{p} = \frac{0,191}{p},$$

где k_0 – передаточный коэффициент, определяющийся в установившемся режиме по формуле:

$$k_0 = \frac{\Delta h_{Q_H}}{Q_H},$$

где Q_H – номинальная производительность насосной установки; Δh_{Q_H} – скорость изменения уровня.

Скорость изменения уровня в резервуаре при номинальной производительности насоса можно вычислить по формуле, где V_H – объем резервуара, h – заданное значение уровня в резервуаре:

$$\Delta h_{Q_H} = \frac{Q_H}{V_H} * h = \frac{3,336}{4,65} * 0,9 = 0,64 \text{ м/мин}$$

Передаточная функция насосной установки. Регулирующий насос представляет собой апериодическое звено, преобразующее скорость вращения вала ω на входе в производительность насоса. Передаточная функция насоса имеет вид:

$$W_H = \frac{k_H}{T_H p + 1} = \frac{0,0003662}{0,2p + 1},$$

где k_H – статический передаточный коэффициент насоса; T_H – постоянная времени насоса.

Постоянную времени для насоса принимаем $T_H = 0,2$ с. Коэффициент передачи насоса определяется в статическом режиме как отношение номинальной производительности насоса Q_H к номинальной скорости электродвигателя насоса ω_H . Номинальная производительность $Q_H = 3,336 \text{ м}^3/\text{мин}$, ($0,0556 \text{ м}^3/\text{с}$); номинальная скорость $\omega_H = 1450 \text{ об/мин}$, ($151,84 \text{ рад/с}$).

Передаточная функция асинхронного электродвигателя:

$$W_{дв} = \frac{k_{дв}}{T_{дв} p + 1} = \frac{3,068}{0,87p + 1},$$

где $k_{дв}$ – статический передаточный коэффициент асинхронного электродвигателя; T_H – постоянная времени двигателя.

Статический передаточный коэффициент двигателя определяется как отношение угловой скорости вращения двигателя ω к частоте питающей сети f . Номинальная частота питания $f_H = 50$ Гц, а значение номинальной угловой скорости вращения двигателя ω_H рассчитывается из номинальной частоты вращения ротора по формуле:

$$\omega_H = \frac{2 * \pi * n}{60} = \frac{2 * 3,14 * 1450}{60} = 151,76 \text{ рад/с}$$

Передаточная функция тиристорного преобразователя:

$$W_{тп} = \frac{k_{тп}}{T_{тп} p + 1} = \frac{2,5}{0,0063p + 1}$$

Передаточный коэффициент тиристорного преобразователя определяется в статическом режиме при номинальном значении выходного воздействия по формуле:

$$k_{тп} = \frac{f_{тп}}{I_{вх.н}} = \frac{50}{20} = 2,5,$$

где f_H – частота на выходе тиристорного преобразователя, обеспечивающая номинальный режим работы двигателя; $I_{вх.н}$ – управляющий ток на входе ТПЧ, который обеспечивает номинальную частоту на выходе

Поскольку управление ТПЧ осуществляется током $4 \div 20$ мА, а частоту двигателя необходимо изменять в диапазоне $0 \div 50$ Гц, то номинальной частоте двигателя ($f_H = 50$ Гц) будет соответствовать входное напряжение управления ТПЧ $I_{вх.н} = 20$ мА.

Постоянная времени тиристорного преобразователя определяется по формуле:

$$T_{тп} = T_{\phi} + \frac{1}{2 * m * f_H},$$

где T_{ϕ} – постоянная времени цепи системы импульсно-фазового управления (СИФУ) ТПЧ, включая фильтр; m – число фаз ТПЧ.

Значение постоянной времени цепи СИФУ тиристорных преобразователей обычно составляет $0,003 \div 0,005$ с, поэтому при моделировании принято принимать значение T_{ϕ} из данного диапазона. С учётом относительной новизны выбранного частотного преобразователя принимаем минимальное значение $T_{\phi} = 0,003$ с. Поскольку ТПЧ осуществляет управление трёхфазным двигателем, то число фаз $m = 3$. Номинальное значение выходной частоты f_n составляет 50 Гц.

Датчик уровня как элемент структурной схемы представляет собой безынерционное звено. В резервуаре КНС планируется поддерживать уровень на отметке 0,9 метра, что соответствует примерно 10 мА на выходе датчика. Отсюда найдем передаточную функцию датчика уровня:

$$W_{\text{ду}} = k_{\text{ду}} = \frac{I_{\text{ду}}}{h} = \frac{10}{0,9} = 11,11.$$

Моделирование САР выполнено в пакете Matlab. При моделировании уровень жидкости в резервуаре принимается равным нулю, двигатель насоса остановлен. Поступление сточных вод считается постоянным.

В результате моделирования были получены переходные характеристики объекта управления (рисунок 2) и органа управления (рисунок 3).

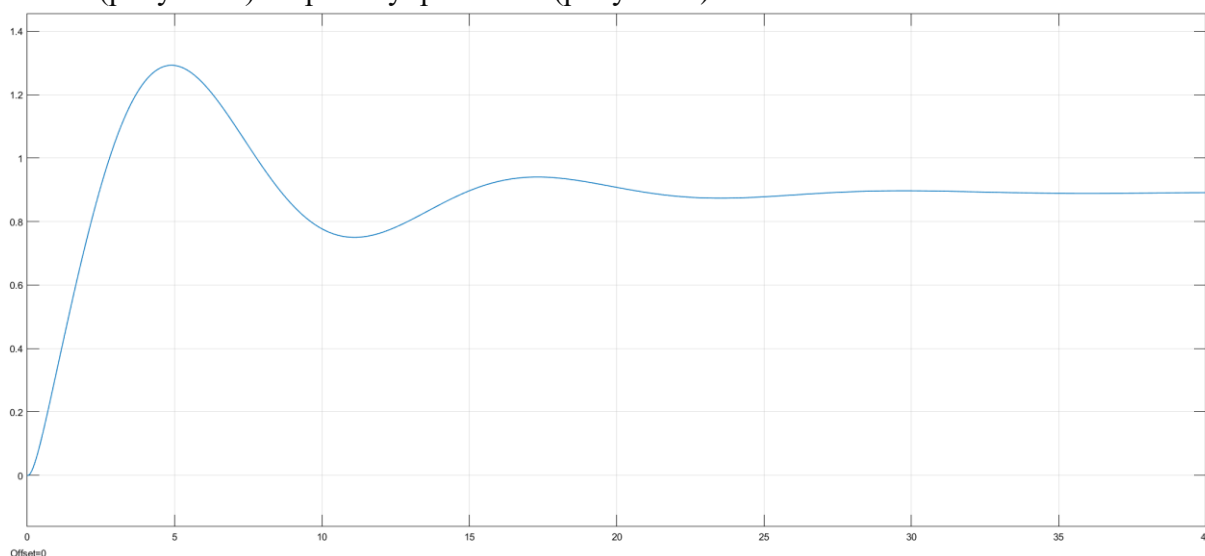


Рисунок 2 – Переходная характеристика объекта управления

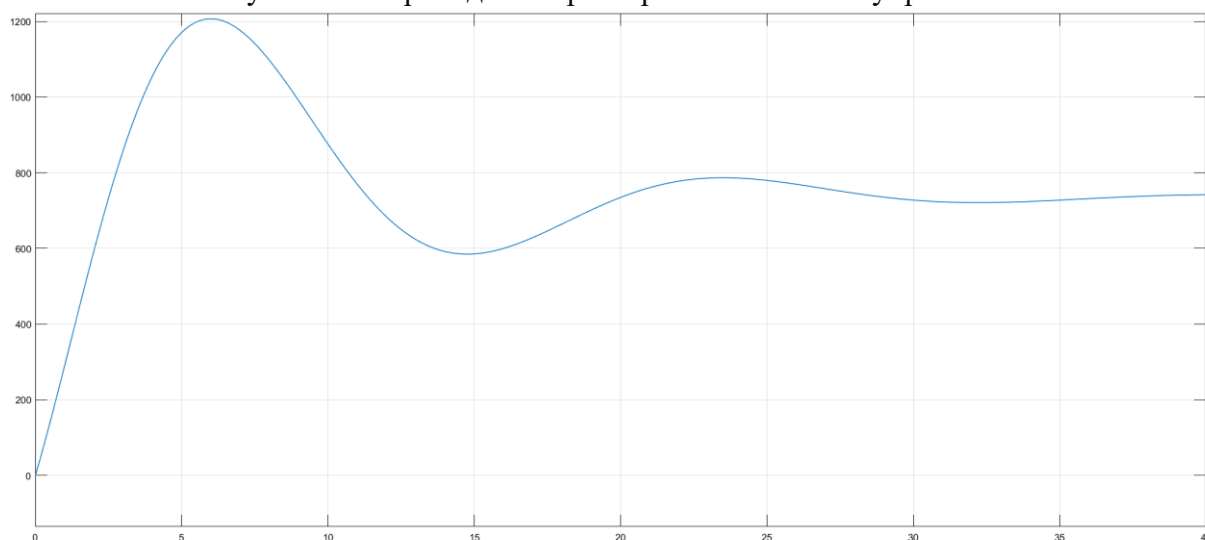


Рисунок 3 – Переходная характеристика органа управления

Как видно из графиков, в начальный момент времени резервуар быстро заполняется сточными водами, а двигатель насоса с задержкой около 2 сек. Разгоняется до примерно

90% от номинальной скорости. Такая задержка не критична с позиции заполнения резервуара. В течение 20 сек. наступает установившийся режим работы. Поскольку изменение потока жидкости, поступающий в резервуар носит инерционный характер, дальнейшие колебания уровня жидкости и, соответственно, оборотов двигателя будут незначительны. Оборудование насосной станции будет использоваться в комфортных условиях.

Список литературы

1. Модернизация автоматизированной системы управления канализационной насосной / Н. Ю. Пономарев, А. А. Широков // Инновации основа развития целлюлозно-бумажной и лесоперерабатывающей промышленности [Электронный ресурс] : сб. материалов VI Всерос. отраслевой науч.-практ. конф. Перспективы развития техники и технологий в целлюлозно-бумажной и лесоперерабатывающей промышленности, Екатеринбург, 23-24 марта 2018 г. : Изд-во УМЦ УПИ, 2018. - С. 184-186.

2. Синтез системы автоматического регулирования уровня бумажной массы в напорном ящике / О. А. Билоус // Фундаментальные исследования. - 2015. - № 8, ч. 1. - С. 93-98.

УДК 676

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МАСЛОБАКЕ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ СМАЗКИ БДМ

Брюханов Д.А.¹, Исаков С.Н.¹

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург

Ключевые слова: бумагоделательная машина, централизованная система смазки, моделирование, линии тока масла.

Аннотация. Произведено компьютерное моделирование движения масла в баках различных конструкций. Получены картины движения и линии тока масла, распределения давления. Результаты подтверждают теоретические картины движения масла.

STUDY OF HYDRODYNAMIC PROCESSES IN THE OIL TANK CENTRALIZED LUBRICATION SYSTEM PM

Bryukhanov D. A.¹, Isakov S. N.¹

¹Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg

Key words: paper machine, centralized lubrication system, modeling, oil flow lines.

Abstract. Computer modeling of oil movement in tanks of various designs is made. Motion patterns and oil flow lines, pressure distribution are obtained. The results confirm the theoretical patterns of oil movement.

Бумагоделательная машина очень сложная техническая система, к которой предъявляются технологические, энергетические и др. требования. Её работа должна быть обеспечена на определенном уровне качества выпускаемой продукции, надежности, ремонтпригодности и т.д. При повышении скорости и увеличения размеров бумагоделательных машин (БДМ) необходимо использовать централизованную систему смазки (ЦСС).

К основным функциям к ЦСС можем отнести [1]: уменьшения износа и трения, охлаждения узлов трения и их очистка, очистка масла от посторонних элементов, в т.ч. воды и воздуха, подача к узлам трения заданных объемов масла и др.

«Центральное» место в ЦСС занимает маслобак (рисунок 1), в котором масло должно храниться во время плановых и аварийных ремонтах, при эксплуатации масло должно «от-

дышать» в нем (растворенные газы и пары влаги выйдут из масла, а тяжелые загрязнения осядут), а также подаваться на насосы и далее в систему смазки.



Рисунок 1 – Маслобак фирмы SKF

Одной из первых конструкций маслобаков, был прямоугольной формы. Но из-за того, что масло проходило бак «напрямую» (рисунок 2), уменьшалось время нахождения масла в баке, которого не хватало для отдыха масла, образовывались застойные зоны, что в свою очередь вызывало не равномерное «старение» и ухудшение его качества.

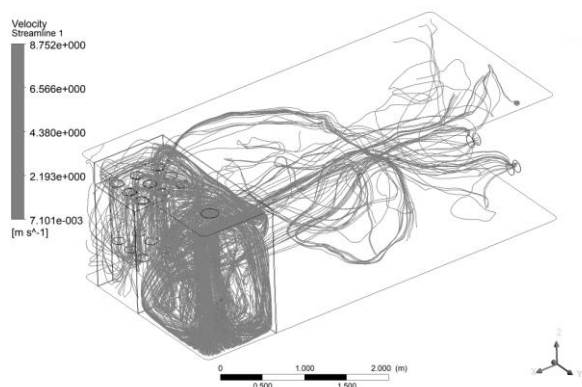


Рисунок 2– Линии тока в прямоугольном баке без перегородок

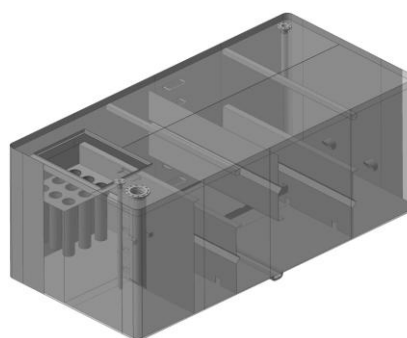


Рисунок 3 – Конструкция бака с перегородками

Модернизированная конструкция бака представлена на рисунке 3, которая отличается от предыдущего установленными перегородками, что позволило уменьшить застойные зоны в баке, увеличить путь движения масла и время нахождения его в баке. Линии тока масла представлены на рисунке 4.

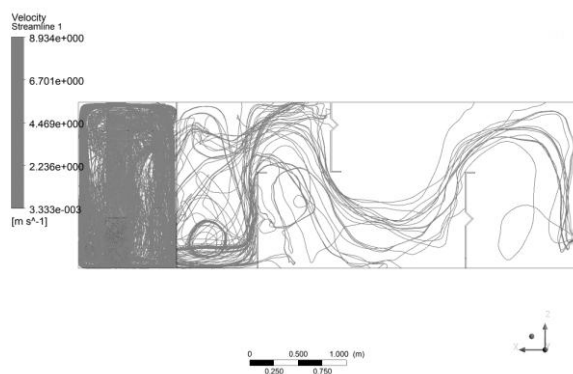


Рисунок 4 – Линии тока масла в баке с перегородками

Современные конструкции имеют, как правило цилиндрическую форму, например маслобак фирмы SKF (рис. 1). Линии тока в баке представлены на рисунке 5.

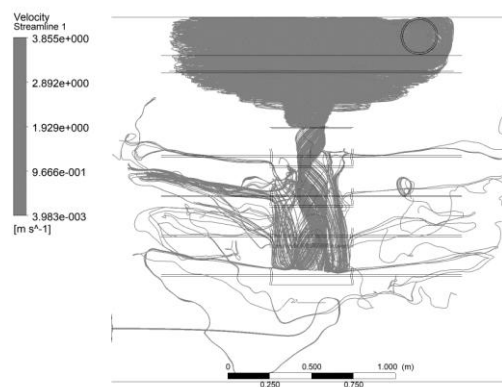


Рисунок 5 – Линии тока масла в цилиндрическом баке

Произведенное моделирование баков различной конструкции полностью качественно отражает теоретические картины движения масла в баке [2].

Предлагается использовать данные технологии при модернизации существующих ЦСС для повышения эффективности их работы.

Список литературы

1. Санников А.А. Надежность машин. Трибология и триботехника в оборудовании лесного комплекса: Учебное пособие / А.А. Санников, Н.В. Куцубина, А.М. Витвинин. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2006. – 145 с.

2. Модернизация системы смазывания бумагоделательных машин URL.:<http://evolution.skf.com/ru>.

УДК 661.83

РЕКУЛЬТИВАЦИОННЫЙ ГРУНТ ИЗ ОСАДКОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ЦБК ДЛЯ БИОРАЗЛОЖЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Герасимова А.Д.¹, Сафонова М.Е.¹, Быкова О.В.¹, Артёмов А.В.¹,
Савиновских А.В.¹, Бурындин В.Г.¹

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический
университет», г. Екатеринбург

Ключевые слова: отходы пластика, активный ил, рекультивационный грунт, биодеструкция.

Аннотация. Выполнены исследования по влиянию различных активных грунтов на физико-механические свойства полимерных материалов. По результатам исследований по использованию осадков очистных сооружений биологической очистки в качестве рекультивационного грунта наблюдается убыль массы полимерных материалов. Предлагается использование рекультивационных грунтов для интенсификации процессов биодеструкции полимерных материалов на объектах размещения отходов.

RECLAMATION SOIL FROM PRECIPITATION BIOLOGICAL TREATMENT OF PULP AND PAPER MILL FOR BIODEGRADATION OF POLYMERIC MATERIALS

Gerasimova A. D.¹, Safonova M. E.¹, Bykova O.V.¹, Artyemov A.V.¹,
Savinovskih A.V.¹, Burundin V.G.¹

¹Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg

Key words: plastic waste, activated sludge, reclamation soil, biodegradation.

Abstract. *Researches on influence of various active soils on physical and mechanical properties of polymeric materials are carried out. According to the results of studies on the use of sediments of treatment facilities of biological treatment as a recultivation soil, a decrease in the mass of polymeric materials is observed. It is proposed to use reclamation soils for intensification of biodegradation processes of polymeric materials at waste disposal facilities.*

В целлюлозно-бумажных производствах одним из видов крупнотоннажного отхода является активный ил, образующийся в результате биологической очистки производственных сточных вод. Данный вид отхода остается невостребованным, часто вывозятся на илонакопители и/или подвергаются сжиганию, тем самым увеличивая нагрузку на окружающую среду.

Изучена [1, 2] возможность интенсификации процесса разрушения полимерных материалов за счет их биodeградации в различных активных грунтах, в частности с использованием осадков биологической очистки сточных вод.

На основании выполненных работ [1, 2] по лабораторной оценке биodeградации полимерных материалов в различных активных грунтах было установлено:

1. Наблюдается изменение массы образцов по результатам выдержки образцов в различных грунтах. Так снижение массы полимерных образцов наблюдалось на 0,14 % для грунта с активным илом, на 2,90 % для простого грунта, для грунта с добавлением обезвоженного осадка – 0,73 %.

2. Наблюдается изменение прочности при растяжении образцов. Снижение прочности при растяжении наблюдается для всех полимерных образцов, наименьшее снижение прочности при растяжении на 6,9 % наблюдается для грунта с добавлением обезвоженного осадка; наибольшее снижение прочности при растяжении на 17,1 % наблюдается для грунта с добавлением активного ила. В среднем снижение прочности при растяжении по всем образцам в различных грунтах составляет при депонировании 210 сут: 8,8 % для грунта с обезвоженным осадком, 11,0 % для простого грунта, 12,4% для грунта с активным илом.

На основании проведенных исследований по биodeградации полимеров и используя литературные данные [3, 4], была предложена рецептура рекультивационного грунта:

1. Почвенный грунт (садовый) – 40 %.
2. Активный ил вторичных – 40 % по абсолютно-сухому веществу (а.с.в.) (грунт № 1)/ Обезвоженный сырой осадок первичных и вторичных отстойников – 20 % по а.с.в. (грунт № 2).
3. Древесный опил – 20 %.
4. Торф – 30 %.

Оценка биостойкости образцов по отношению к рекультивационному грунту осуществлялось по потере массы образцов. В качестве объекта исследований были использованы полипропиленовые крышки ПЭТ-тары.

Результаты испытаний после 3 и 4 месяцев (90 и 120 сут.) экспозиции образцов в грунтах представлены в таблице 1 и на рисунках 1 и 2.

Таблица 1

Результаты испытаний образцов в рекультивационных грунтах на потерю массы (г)

№	Образец	Среда	Время экспозиции, сутки				
			0	30	60	90	120
1	Образец № 1	Контроль	2,2484	2,2495	2,2521	2,2510	2,2485
		Грунт №1	2,2553	2,3521	2,3656	2,2559	2,2548
2	Образец № 2	Контроль	2,5398	2,5415	2,5435	2,5101	2,5400
		Грунт №1	2,5352	2,5564	2,5642	2,5390	2,5578
3	Образец № 3	Контроль	2,3882	2,3919	2,3894	2,3886	---
		Грунт №2	2,3771	2,4247	2,3751	2,3770	---
4	Образец № 4	Контроль	2,3426	2,3460	2,3502	2,3429	---
		Грунт №2	2,3693	2,4064	2,3711	2,3717	---

Для определения влияние времени выдержки образцов, при котором происходит изменение массы образцов, применялся метод попарного сравнения средних арифметических результатов измерений [5].

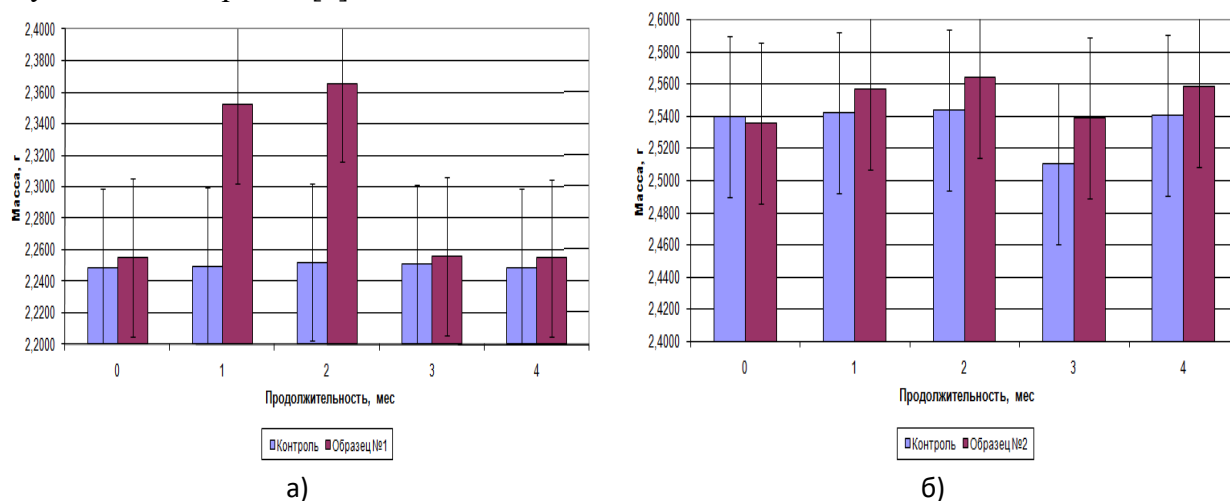


Рисунок 1 – Изменение массы образцов в рекультивационном грунте № 1 в течение 120 суток: а) для образцов № 1, б) для образцов № 2

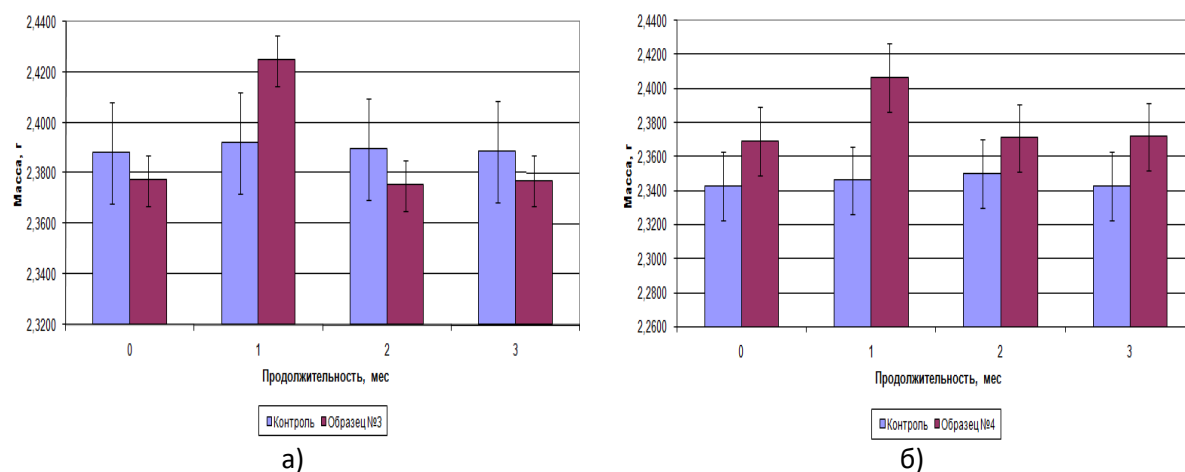


Рисунок 2 – Изменение массы образцов в рекультивационном грунте №2 в течение 90 суток: а) для образцов № 3, б) для образцов №4

Алгоритм расчетов зависит от соблюдения равенства выборочных дисперсий единичных значений (S_v^2 и S_{2v+a}). Результаты выполненных расчетов сравнения изменения контрольной массы образца и массы образцов №1-4 в активном грунте № 1 и 2 представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты оценки расчета сравнение средних значений

№	Образец	Расчетный критерий Фишера F_p	Табличный критерий Фишера F_t	Однородность дисперсий	Различия
1	№1	1243,4	6,39	неоднородны	значимы
2	№2	48,2	6,39	неоднородны	значимы
3	№3	211,56	6,39	неоднородны	значимы
4	№4	25,64	6,39	неоднородны	значимы

Сравнение пар средних арифметических значений показало, что с вероятностью 0,95 можно утверждать об изменении (в сторону снижения) массы образца при депонировании их в рекультивационных грунтах.

По результатам проведенных исследований в качестве перспективной грунтовой среды для биологической деградации рекомендуется использование активного ила.

Использование рекультивационного грунта на основе отходов биологической очистки сточных вод (избыточный активный ил, сырой осадок вторичных отстойников) с вероятностью 0,95 можно говорить о биоразрушении полимеров на основании изменения их массы. Влияние внешних условий окружающей среды (УФ воздействия, цикличность температур) позволяет интенсифицировать процессы биodeградации полимеров в активном грунте.

Список литературы

1. Исследование биологического разрушения полимерной тары / Берсенева Л.С., Гузайрова Н.Н., Ивашура А.А., Артёмов А.В., Савиновских А.В., Бурындин В.Г. // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: матер. XIII Всерос. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов и конкурса по программе «Умник» / М-во образования и науки РФ, Урал. гос. лесотехн. ун-т, Урал. отделение секции наук о лесе Рос. Акад. естеств. наук, Урал. лесной технопарк. – Екатеринбург, 2017. – С. 374–377.
2. Интенсификация процессов биодеструкции полимерных материалов на объектах размещения отходов / Сафонова М.Е. Артёмов А.В., Савиновских А.В., Бурындин В.Г. // Сборник трудов Всероссийской научной конференции, посвященной 60-летию юбилею кафедры Технологии пластических масс. – Казань, 2018. – С. 51.
3. ГОСТ 17.5.3.04-83. Охрана природы. Земли. Общие требования к рекультивации земель. – Москва: Изд-во стандартов, 1984. – С. 48-55.
4. ГОСТ Р 54651-2011. Удобрения органические на основе осадков сточных вод. Технические условия. – Москва: Изд-во Стандартинформ, 2012. – 20 с.
5. Глухих В.В. Основы научных исследований: курс лекций / В.В. Глухих. – 2-е изд., перераб. и доп. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2008, С. 99.

УДК 65.011.56

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЦЕЛЕВОГО ПРОДУКТА НА БДМ-2300 ООО «ПРИКАМСКИЙ КАРТОН»

Горошков А.И.¹, Вялых И.А.¹

¹ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский
политехнический университет», г. Пермь

Ключевые слова: бумагоделательная машина; слаломная сетка; Неомид 151.

Аннотация. В данной работе рассмотрены методики повышения качества свойств бумажного полотна за счет добавления химических компонентов и изменение сушки волокна с помощью слаломной сетки I сушильной группы.

IMPROVING THE QUALITY OF THE TARGET PRODUCT ON THE PM-2300 LLC «PRIKAMSKY CARDBOARD»

Goroshkov A.I.¹, Vialykh I.A.¹

¹Perm national research Polytechnic University, Perm

Key words: paper machine slalom mesh; Neomid 151.

Abstract. In this work the methodology of improving the quality of the properties of the paper web by adding chemical components and changing the drying of fiber by slalom mesh I drying group.

Кипованную макулатуру по транспортеру подают в гидроразбиватель. Сюда же жидким потоком подается макулатурная масса с бака отходов. Часть массы из верхней части гидроразбивателя самотеком поступает в аппарат дороспуска. Далее масса разбавляется оборотной водой до 2,5 % и посредством центробежной силы подается на ротационный барабан. Пройдя весь жизненный цикл подготовки, масса на выходе имеет концентрацию 4 – 4.5% (короткое волокно) и концентрацию 3-3.5% (длинное волокно).

За счет многократного использования оборотной воды появляются бактерии, за счет которых образуются участки со слизью. Слизь, проходя участки сушки, остается на бумажном полотне, из-за этого происходят обрывы и соответственно простои БДМ. Отсюда портится статистика экономического эффекта.

Для сокращения обрывов бумажного полотна и простоев БДМ присутствует линия подачи свежей воды, в которую, в связи с модернизацией, добавляют Неомид 151. Назначение Неомида 151: подавление роста планктонных микроорганизмов, образования слизи и биоотложений в системах оборотного водоснабжения [1]. Ниже на графиках представлена статистика обрывов из-за слизи с Неомидом 151(рисунок 2) и без него (рисунок 1).

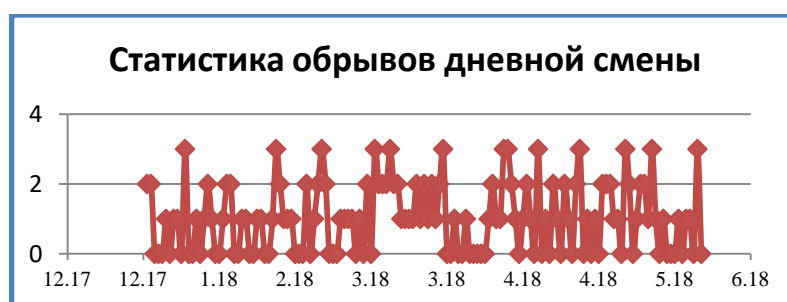


Рисунок 1 - Статистика обрывов без использования Неомид 151



Рисунок 2 - Статистика обрывов с использованием Неомид 151

На графиках представлены центральные точки означающие: 0 – смена без обрыва; 1 – обрыв по слизи; 2 – обрыв по пыли; 3 – пятна гудрона. Статистика показала, что при применении Неомида 151 в свежую воду, снизилось количество бактерий в воде и тем самым уменьшилось количество обрывов из-за слизи.

Для уменьшения скапливания пыли после прессовой части была произведена модернизация I-ой сушильной группы. То есть переход на слаломную сетку, которая подразумевает другое хождение сукна, минуя определенные цилиндры. Так как на II-ой сушильной группе образовывалась статика, то за счет нее появлялось скопление пыли, и происходили обрывы. В связи с этим были отключены следующие цилиндры: №62 - №68, №1 и №2. Теперь система сушки бумаги сместилась примерно на 0,6, то есть в III-ей сушильной группе приходит не сухая, а влажная бумажная масса. То есть частично пропала статика, и количество обрывов уменьшилось. На рисунке 3 представлена схема движения сетки в старом варианте. На рисунке 4 представлена слаломная сетка.

В зависимости от типа выпускаемой цехом продукции для проклейки используется клей с различными параметрами. От качества клея зависит равномерность толщины покрытия полотна. Для обеспечения требуемой равномерности покрытия можно изменять следующие параметры клея: вязкость, концентрацию, температуру, pH. В зависимости от равномерности покрытия изменяются качественные характеристики бумажного полотна, а, следовательно, его окупаемость.

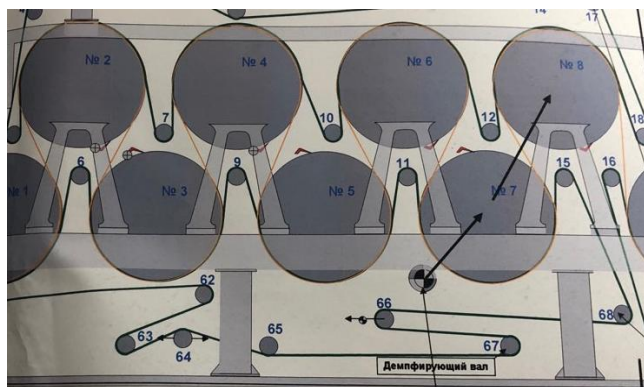


Рисунок 3 – Старая схема движения сетки

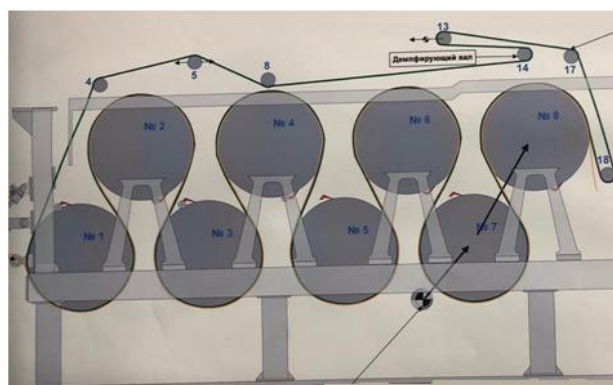


Рисунок 4 – Слаломная сетка

На данный момент параметры клея определяются с помощью взятия пробы в начале и в конце смены. Параметры исследуются лабораторией, и на их основании разрабатывается задание для изменения параметров процесса. Взятие пробы, анализ и разработка задания в лаборатории занимают большое количество времени. При заниженных показаниях клея изменяются свойства полотна после проклейки, может произойти обрыв на сушильных цилиндрах, что приведет к аварии. Так же полотно может перейти в категорию брака, что будет экономически неэффективно для производства. Поэтому разработана система автоматического регулирования параметров клея.

Технологический процесс содержит вещества: пар давлением 5-8 бар, вода 3 бара, неокисленный кукурузный крахмал, окислитель - персульфат аммония, растворенный в воде. В таблице 1 представлены физико-химические характеристики кукурузного крахмала.

Таблица 1

Характеристики персульфата аммония

Массовая часть влаги, %, не более	13,0
Массовая часть общей золы (в пересчете на сухое вещество), %, не более	0,11
В том числе: золы, которая не растворима в 10%-м растворе соляной кислоты (в крахмале, который предназначен для питания), %, не более	0,040
Массовая часть протеина (в пересчете на сухое вещество), %, не более	0,40
Массовая часть сернистого ангидрида (SO ₂), мг/кг, не более	50,0
Кислотность, см ³ , не более	16,0
pH	4,0...6,0
Насыпной вес, г/л после высушивания	400
Насыпной вес, г/л после дополнительного дробления (мелкодисперсный)	600

В таблице 2 представлены физико-химические характеристики персульфата аммония.

Таблица 2

Характеристики персульфата аммония

Молекулярная масса	228,20
pH (5%, H ₂ O)	3,0-4,0 (20°C)
Точка плавления	120°C
Растворимость	582 г/л (H ₂ O)
Содержание основного вещества	не менее 98,5%(по факт: 98,8%)
Активный кислород, не менее	6,91% (по факт: 6,92%)
Содержание Хлоридов и Хлоратов	не более 0,001% (по факт: 0,001%)
Содержание железа (Fe)	не более 0,001%(по факт: 0,001%)
Содержание тяжелых металлов	не более 0,001%(по факт: 0,001%)
Содержание Mn	не более 0,00005% (по факт: 0,00005%)

Варка крахмала может осуществляться периодическим и непрерывным способом [2]. На рисунке 5 представлен технологический процесс варки клея.

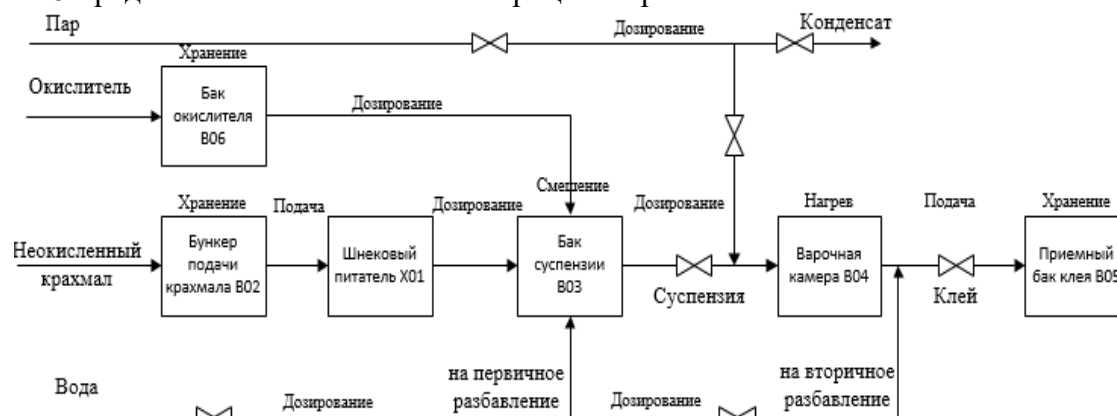


Рисунок 5 – Технологический процесс варки клея

На основе регламентированных значений технологического процесса и технологических параметров крахмальной кухни принято решение о сокращении времени регулирования рН и концентрации. Значение концентрации зависит за счет частоты оборотов шнекового питателя, а рН зависит от частоты от числа импульсов насоса, то есть от количества, подаваемого в бак смешения окислителя. Идентификация проводилась по данным лаборатории за половину месяца. Объект считается квазистационарным, то есть протекающим в ограниченной системе и распространяющимся в ней так быстро, что за время распространения этого процесса в пределах системы ее состояние не успевает измениться. Модернизация клеильной кухни производилась на контроллере Siemens S7-300. Данная модернизация еще проходит свою стадию тестирования.

По результатам проведенных модернизаций снизились риски возникновения обрывов из-за следующих показателей: применение химиката Неомид 151 в свежую воду для снижения количества бактерий, в дальнейшем проявления в виде слизи на бумажном полотне; применение слаломной сетки на I – ой сушильной группе для снижения образования пыли; повышение качества продукции и снижение количества брака за счет сокращения времени регулирования рН и концентрации.

Список литературы

1. Р.Х. Хакимов, С.Г. Ермаков Технология бумаги: Учебное пособие/ ПГТУ - Пермь, 2005. - 104с.
2. Иванов С.Н. Технология бумаги. – 3-е изд. – М.: Школа бумаги, 2006. – 696 с.

УДК 676.012.77

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА УЧЕБНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Даденков Д.А.¹, Суслов К.Ю.¹

¹ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь

Ключевые слова: технологический процесс, динамическое моделирование, технологические параметры, подготовка бумажной массы, база сигналов, автоматизация.

Аннотация. В статье рассмотрены результаты моделирования участка технологического процесса подготовки бумажной массы учебно-экспериментальной установки. Представлены принципы разработки и моделирования тепло-гидравлических схем в отечествен-

ной среде имитационного моделирования *SimInTech*. Выполнена реализация гидравлической схемы и алгоритмов для моделирования участка технологического процесса в среде *SimInTech*. Произведен анализ результатов исследования и предложены дальнейшие перспективы развития разработанного проекта для моделирования технологического процесса.

MODELING OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF EDUCATIONAL-EXPERIMENTAL INSTALLATION

Dadenkov D.A.¹, Suslov K.Y.¹

¹Perm national research Polytechnic University, Perm

Key words: technological process, dynamic modeling, technological parameters, preparation of paper stock, signal base, automation.

Abstract. The article discusses the results of modeling the area of the technological process of preparation of paper pulp of a training and experimental installation. The principles of development and modeling of thermo-hydraulic circuits in the domestic simulation environment *SimInTech* are presented. The implementation of the hydraulic circuit and algorithms for modeling the technological section in the *SimInTech* environment has been completed. The analysis of the research results was carried out and the prospects for the further development of the developed project for modeling the technological process were proposed.

Технологически процесс (ТП) производства бумаги представляет собой сложный многостадийный процесс, полного производственного цикла – от переработки сырья и производства полуфабрикатов, до выпуска и реализации готовой продукции. Определяющим фактором качества выпускаемой продукции в производственном процессе служит сложность и многообразие задач по автоматизации процесса производства бумаги.

Высокое качество выпускаемой продукции напрямую зависит от непрерывного протекания технологического процесса, что в свою очередь требует точной настройки многочисленных контуров регулирования технологических процессов и их параметров [1, 2].

Сложность рассматриваемых систем и объектов, обуславливается наличием протекающих в них физических процессов, и трудозатрат на реализацию их математического описания. Для решения обозначенной проблемы на практике используются программные моделирующие комплексы, позволяющие проводить расчет переходных процессов в гидравлических системах на основе цифровых моделей, состоящих из блоков и соединяющихся линиями связи. Использование зарубежного программного обеспечения широко представленного такими продуктами как *LabView*, *Matlab/Simulink*, *VisSim*, *SimulationX*, противоречит активно развивающейся тенденцией импортозамещения. Это обуславливает актуальность внедрения российских систем программного обеспечения для моделирования технических систем, таких как среда *SimInTech* [3].

Объектом исследования является экспериментальная установка имитации работы локальных контуров регулирования технологических процессов подготовки бумажной массы [1]. Установка представляет собой совокупность физической модели технологического процесса и программно-технического комплекса (ПТК) для управления. Учебно-экспериментальная установка может быть использована как в учебном процессе, при проведении лабораторных работ, так и в научно-исследовательских разработках.

Моделирование в среде динамического моделирования SimInTech. *SimInTech* – российская система модельно-ориентированного проектирования систем автоматического управления (САУ). При этом *SimInTech* является универсальной средой создания математических моделей, алгоритмов управления, интерфейсов управления и автоматической генерации кода для программируемых контроллеров и графических дисплеев [3].

Инструменты среды *SimInTech* позволяют реализовать технологию, так называемого сквозного проектирования на всех этапах жизненного цикла систем автоматизированного

управления [3, 4]. Архитектура *SimInTech* содержит следующие необходимые инструменты для создания комплексных моделей систем управления:

1) Библиотека блоков автоматики – включает в себя общетехническую автоматику, нечеткую логику, конечные автоматы, а так же обладает возможностями для обмена данными, оптимизации, распараллеливания расчетов, и так далее.

2) Основные библиотеки блоков: теплогидравлика [5], электрика, механика, пневмо- и гидро-системы, динамика полетов летательных аппаратов, баллистика, электрический привод.

3) Специализированные библиотеки блоков: кинетика нейронов, библиотека свойств воды и водяного пара, надежность безопасность и живучесть

Программное обеспечение *SimInTech* состоит из графической среды разработки и исполнительной системы реального времени *NordWind*. Обмен данными и сигналами между различными схемами в *SimInTech*, происходит через встроенную базу сигналов, которая представляет собой файловую базу данных, содержащую в себе константы и переменные.

Обмен сигналами производится при помощи запросов прописываемых в элементах кода автоматики, в результате которых база сигналов возвращает необходимый сигнал [3]. Комплексная модель объекта, создаваемая за счет связей систем через базу сигналов в пакете *SimInTech*, представлена на рисунке 1.

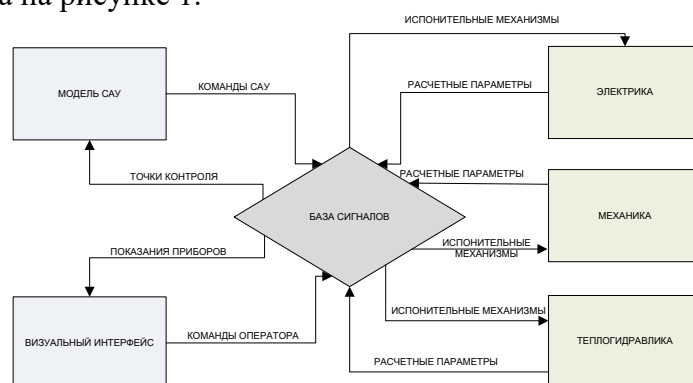


Рисунок 1 – Комплексная модель объекта в *SimInTech*

Конструктивно установка состоит из пяти емкостей, последовательно соединённых системой трубопроводов, имитирующих технологические бассейны реального технологического участка подготовки бумажной массы [1]. Система трубопроводов содержит четыре сетевых насоса, с частотно регулируемым электроприводом, ручные и регулирующие клапаны с электроприводом, трубчатый электронагреватель, датчики основных технологических параметров – расход, давление, концентрация. Все емкости снабжены датчиками уровня, системой защиты от перелива и соединены с дренажной системой слива массы через ручные вентили. Функциональная схема установки, представлена на рисунке 2.

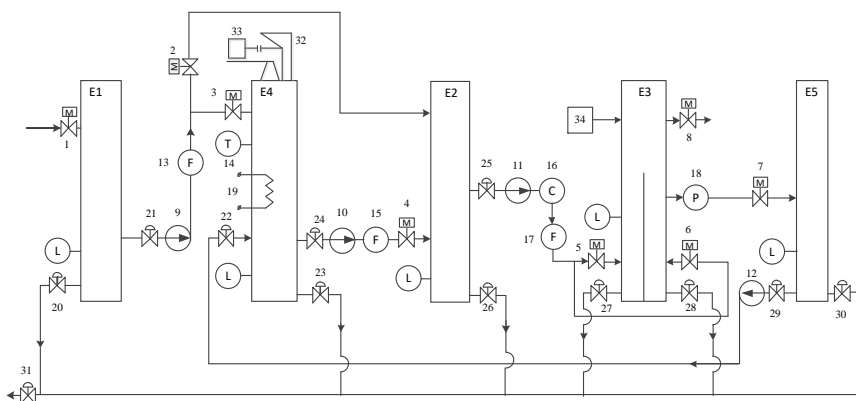


Рисунок 2– Функциональная схема учебно-экспериментальной установки

Описываемый участок технологического процесса моделируется в пакете *SimInTech* содержащем теплогидравлическую схему [5], состоящую из элементов трубопровода, емкостей и регулирующих клапанов, и схему автоматики для управления исполнительными механизмами [3].

Математическая модель бака представляет собой модель типа «камеры смешения», то есть весь теплоноситель, содержащийся в баке, имеет единые параметры (одно давление и энтальпию, и, следовательно, температуру и плотность). Физический объект, соответствует блоку: негерметичный бак (с открытой крышкой), со свободным уровнем и постоянным давлением атмосферы или другой среды [3]. Схема теплогидравлики участка установки представлена на рисунке 3.

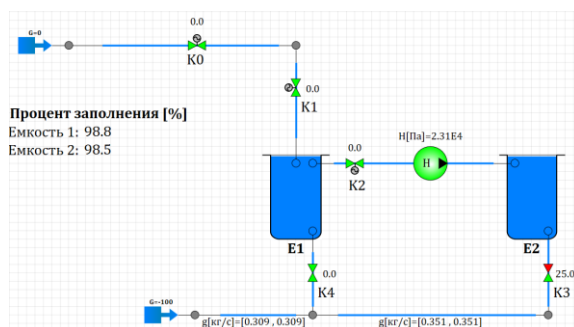


Рисунок 3– Схема участка теплогидравлики в *SimInTech*

Схема автоматики, управляющая исполнительными механизмами такими как: клапаны, насосы, электрические двигатели. Управление уровнем жидкости в емкостях, производится с помощью клапанов с электроприводом, в зависимости от рассчитанного объема теплоносителя в баке. В свою очередь управление моделью насоса, создающего заданный напор, и предназначенный для создания расхода в гидравлическом контуре, вычисляется в схеме автоматики при помощи передаточной функции [2, 3]. Схема автоматики представлена на рисунке 4.

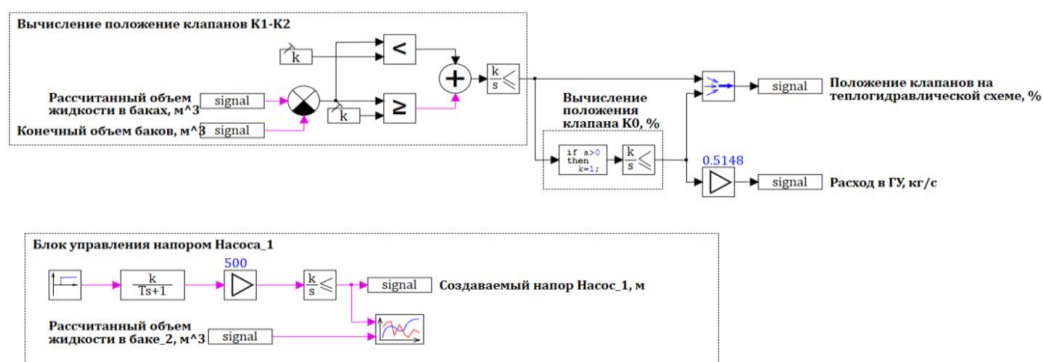


Рисунок 4 – Схема блока автоматики в *SimInTech*

Результатом моделирования служат параметры, рассчитываемые встроенным математическим ядром, для каждого элемента теплогидравлической схемы которые могут быть представлены в виде графика или выгружены в файл в виде таблицы [3, 5]. На рисунке 5 представлены графики уровня теплоносителя в емкостях, объемный расхода в трубопроводе, а так же напор на выходе насоса. В результате исследования, моделируются процессы наполнения теплоносителем емкостей, управление запорной арматурой, а так же работа насосного оборудования. Подача теплоносителя осуществляется по каналу имитирующему систему трубопровода и в результате запуска происходит наполнение емкости. Насос для перекачивания теплоносителя с заданным расходом запускается на 10-ой секунде моделирования. Клапаны с электроприводом регулируют уровень теплоносителя в емкостях и при достижении конечного объема жидкости в баке закрываются, а при снижении объема в емкостях открываются.

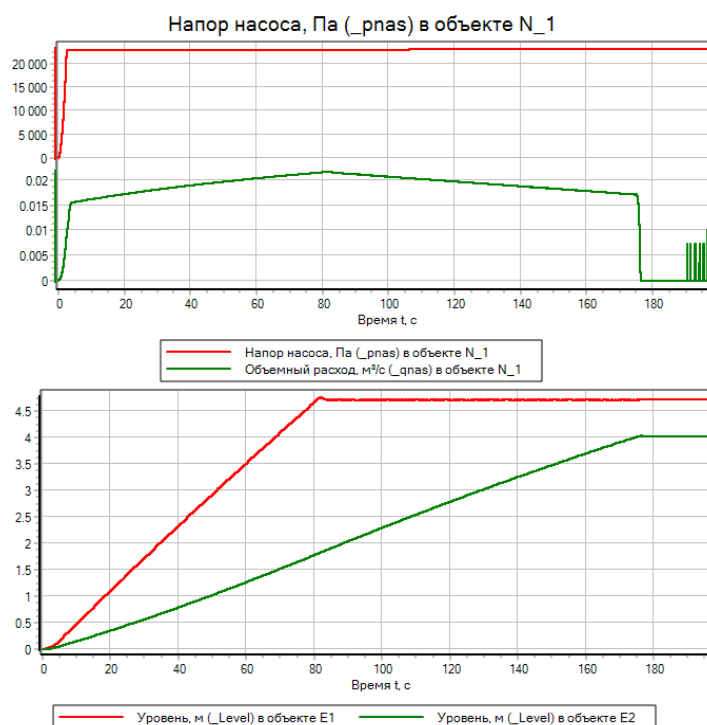


Рисунок 5 – Графики уровня теплоносителя, напора и объемного расхода

В результате проведенных исследований произведен анализ технологического процесса подготовки бумажной массы, построена теплогидравлическая схема участка технологического процесса, разработана схема моделирования узлов автоматики, для дальнейшей реализации контуров регулирования уровня и расхода, выполнен анализ полученных результатов моделирования. Дальнейшим этапом исследования, является синтез и моделирование контуров регулирования технологических параметров с использованием динамической модели технологического процесса разработанной в среде *SimInTech*.

Список литературы

1. Разработка экспериментальной установки имитации работы контуров регулирования технологических процессов производства бумаги предприятия ООО «Пермский картон» / Даденков Д.А., Л.В.Поносова, А.Б.Петроченков, И.Г.Друзьякин, А. Г. Лейсле. // Материалы III Международной научно-технической интернет-конференции «Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике», ПГТУ, – Пермь, 2009.
2. Синтез и настройка локальных контуров регулирования уровня и расхода учебно-экспериментальной установки / Д. А. Даденков, Д. Н. Черемных, А. Л. Рябухин / Перспективы развития техники и технологий в целлюлозно-бумажной промышленности : материалы II Всерос. отраслевой науч.-прак. конф., г. Пермь, 28 февр. 2014 г. // М-во образования и науки Рос. Федерации, Перм. нац. исслед. политехн. ун-т, Группа предприятий Перм. целлюлозно-бумажная компания, АО Соликамскбумпром. - Пермь : Перм. ЦНТИ, 2014. - С. 101-110.
3. «3В Сервис» Справочная система SimInTech [Электронный ресурс]: справочная система / URL: [//simintech.ru/webhelp/#o_simintech/o_simintech.html](http://simintech.ru/webhelp/#o_simintech/o_simintech.html) (дата обращения 05.04.2019)
4. Учебное пособие для студентов технических вузов «Среда динамического моделирования технических систем» / Карташов Б.А., Шабаетв Е.А., Козлов О.С., Щекатуров А.М. // Изд-во: ДМК-Пресс, 2017 г. – С.-17
5. Библиотека для моделирования гидро- и пневмосистем в SimInTech, КБ «Арматура» – филиал ФГУП «ГКНПЦ им. М. В. Хруничева», 2017. – С 712-717.

УДК 57.083.1

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ РАЗЛОЖЕНИЯ И УТИЛИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Забокрицкий А.А.¹, Вураско А.В.¹¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург

Ключевые слова: биологический метод разложения и утилизации, лигнин, микроорганизмы-биодеструкторы, нитроцеллюлоза, экологический препарат экологического назначения.

Аннотация. Биологический метод наиболее перспективен по эффективному решению экологических задач на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности. Результаты экспериментальных исследований показывают перспективность использования биологического метода для деструкции лигнина. Теоретический анализ показывает, что ферментные системы почвенных микроорганизмов, в том числе родов *Pseudomonas* и *Arthrobacter*, способны деполимеризовать лигнин до простых соединений.

THEORETICAL STUDIES TO ASSESS THE POTENTIAL USE OF BIOLOGICAL METHOD OF DECOMPOSITION AND RECYCLING OF INDUSTRIAL WASTE GENERATED AT THE ENTERPRISES OF PULP AND PAPER INDUSTRY

Zabokritsky A.A.¹, Vurasko A.V.¹¹Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg

Key words: biological methods of decomposition and utilization, lignin, microorganisms-biodestructors, nitrocellulose, biological drug of ecological purpose.

Abstract. The biological method is the most promising for the effective solution of environmental problems in the enterprises of the pulp and paper industry. The results of experimental studies show the prospects of using the biological method for the destruction of lignin. Theoretical analysis shows that the enzyme systems of soil microorganisms, including the genera *Pseudomonas* and *Arthrobacter*, are able to depolymerize lignin to simple compounds.

К началу XXI века человеческая деятельность создала предпосылки для нынешних глобальных загрязнений в традиционных отраслях промышленности. Среди большинства действующих производств нет ни одного, которое не сопровождалось бы образованием различных видов техногенных отходов, оказывающих мощное неблагоприятное воздействие на окружающую среду, включая микроорганизмы, растения, животных и человека [1].

Обеспечение экологической безопасности становится одним из важных компонентов национальной безопасности, оказывая все большее влияние на благополучие и здоровье населения. Обстановка в Российской Федерации, связанная с загрязнением среды обитания опасными химическими веществами, продолжает оставаться напряженной, уровни загрязнения окружающей природной среды многими вредными веществами существенно превышают их предельно-допустимые концентрации [2, 3].

Наиболее значительные источники выбросов токсических веществ различных классов опасности характерны для предприятий химических и нефтеперерабатывающих производств, металлургии, энергетики, целлюлозно-бумажной промышленности и др. [2]. В то же время, вопросы обращения с промышленными отходами до настоящего времени во многом остаются нерешенными.

В настоящее время биологические методы обезвреживания техногенных отходов находят все более широкое применение в нашей стране и за рубежом. Они основаны на способ-

ности различных штаммов микроорганизмов в процессе своей жизнедеятельности разлагать или усваивать многие органические загрязнители [4].

Так, например, использование природных микроорганизмов для утилизации ксенобиотиков занимает приоритетное место в различных экологических программах по охране окружающей среды. Микробиологический метод очистки является одним из наиболее перспективных направлений развития экобиотехнологии вследствие своей эффективности, безвредности и сравнительно низкой себестоимости. В качестве объектов первостепенного внимания при этом признаются промышленные растворители, нефтепродукты и полихлорированные бифенилы [5].

Микробиологическое обезвреживание отходов требует в 3-10 раз меньше экономических затрат, чем физические или химические методы [2, 6, 7].

Микробиологические методы основаны на естественной способности природных микроорганизмов деградировать опасные соединения до безвредных веществ. Они эффективны против широкого круга вредных органических соединений, трудно поддающихся разрушению другими известными способами. Поэтому проблема биологической деградации, т.е. процесса полного или частичного разрушения органических соединений микроорганизмами, приобретает в настоящее время чрезвычайную актуальность. Укажем, что результатом реализации биодеструктивных свойств микроорганизмов является, как правило, разложение органических веществ до таких конечных продуктов метаболизма, как H_2O , CO_2 , NH_3 , H_2S и др. [5, 6, 8].

Ранее нами были проведены научно-исследовательские работы и создан биологический препарат экологического назначения широкого спектра действия «Центрум-MMS», позволяющий эффективно утилизировать в лабораторных и натурных условиях широкий спектр различных различных ксенобиотиков (сырая нефть, мазут, бензин, топлива (дизельное, авиационное и реактивное), масла (машинное, моторное и турбинное), растительные и животные жиры, спирты (в том числе многоатомные), толуол, бензол и нафталин). Разработка была защищена патентом РФ на изобретение № 2428471 от 13 июня 2010 г. [9]

Дальнейшие исследования позволили выявить ранее неизвестные для данного препарата биологические свойства. Так, была установлена возможность его практического использования как основы в технологии по утилизации отработанных деревянных железнодорожных шпал, пропитанных креозотом, в состав которого, как известно, входят такие компоненты, как фенол, метиловые эфиры двух- и трехатомных фенолов (гваякол, креозол, диметилпирогаллол и другие фенолпроизводные, а также конденсированные ароматические соединения (нафталин, антрацен, фенантрен и другие).

В последующем у микроорганизмов-биодеструкторов, входящих в состав препарата, было показано наличие нового, ранее не изученного свойства - способности утилизировать нитросоединения, что позволило предложить его для разложения таких компонентов, как ракетные топлива на основе гептила – несимметричного диметилгидразина и очистки территорий и водных поверхностей от этого загрязнителя (Патент РФ на изобретение № 2650864 от 17 апреля 2018 г.) [10].

Ранее не было разработано и не предлагалось также приемлемой и адекватной технологии для практического осуществления такой актуальной и сложной экологической задачи, как биодеструкция и нейтрализация отходов нитроцеллюлозы (НЦ) на химических предприятиях, которые производят и используют ее в своем технологическом цикле.

Нами были предложены технологические решения и разработан Промышленный регламент по обезвреживанию загрязненных нитроцеллюлозой прудков-накопителей Режевского химического завода, производившего взрывчатые вещества на основе нитроцеллюлозы, в котором были представлены не только технологические требования, но и обоснованы конкретные физико-химические и биотехнологические параметры, обеспечивающие наиболее эффективную биодеструкцию нитроцеллюлозы. В результате реализации и практического внедрения указанного препарата (Патент РФ на изобретение № 2668811 от 2 октября 2018 г.) в натурных условиях было обработано 50040 тонн промышленных отходов, находящихся в

прудках-накопителях в виде донных отложений полужидкой консистенции, и обезврежено более 600 кг нитроцеллюлозы, количество которой по данным хромато-масс-спектрометрического анализа снижено до безопасного уровня – менее чем 10^{-6} г·кг⁻¹. Одновременно уменьшился и уровень имеющегося загрязнения нефтяными (мазут и технические масла) углеводородами (всего 950 т) до 0,3 г·кг⁻¹, то есть в 10 раз ниже значения ПДК, установленного требованиями нормативных документов [11, 12].

Данная работа была выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Национальная система химической и биологической безопасности Российской Федерации (2009-2014 годы)» и участия в исполнении Государственного контракта от 26 декабря 2011 г. № 11412.1007500.13.005 с Минпромторгом России и в последующем принята Заказчиком.

Известно, что в целлюлозно-бумажной промышленности одним из главных промышленных отходов является лигнин, которого, в частности, за время деятельности Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (БЦБК) было накоплено 2,6 млн. тонн. Шлам-лигнин в виде осадка, образованного при химической очистке сточных вод комбината, складирован в 10 картах-накопителях [13]. В настоящее время существует угроза катастрофического загрязнения озера Байкал в случае разрушения хранилищ отходов, в том числе и в результате таких опасных геологических процессов как землетрясения, сели и половодье. Для устранения угроз уникальной экологической системе необходима незамедлительная переработка и ликвидация отходов производства БЦБК и рекультивация загрязненных территорий.

Ранее были предложены десятки способов рекультивации, которые в целом себя не оправдали: сушки, сжигания, обезвоживания, омоноличивания, дренажа поверхностных вод, использование шлам-лигнина калифорнийскими червями и др. [14-16].

По структуре шлам-лигнин представляет собой: лигнинные вещества (50-53 %), активный ил (15...25 %), глинозем (5...10 %), полиакриламид (5 %), целлюлозное волокно (5 %).

Молекулярная масса лигнина 1000...10000, он не растворим в воде и в большинстве органических растворителей. Молекула лигнина содержит только три элемента – углерод, водород и кислород, однако это весьма сложное соединение, состоящее из большого числа полимеризованных мономерных блоков, которые представляют собой производные фенилпропана. С химической точки зрения лигнин является производным ароматических углеводородов.

Выполненный нами теоретический анализ позволяет утверждать, что ферментные системы почвенных микроорганизмов, в том числе, и тех на основе которых был разработан и создан рекомендуемый эколобиопрепарат, в принципе, способны деполимеризовать лигнин до простых соединений.

В плане вышеизложенного укажем и на сообщение [17], что бактерии рода *Pseudomonas* (входит в состав предлагаемого эколобиопрепарата), а также *Arthrobacter* «легко деградируют одиночные кольцевые ароматические вещества». Аэробные бактерии рода *Pseudomonas* активно участвуют в природных экосистемах и в термофильном разложении лигнина [18]. Это косвенно подтверждается и опытом наших масштабных работ на Режевском химическом заводе, а также положительными результатами экспериментальных исследований по изучению биodeградационных свойств разработанного биопрепарата в отношении полициклических углеводородов (нефть месторождения Оха, о. Сахалин).

Вышеприведенные аргументы могут служить серьезной предпосылкой для разработки и внедрения лабораторной, а в последующем и промышленной технологии утилизации (как в биореакторах, так и в натуральных условиях) данного вида техногенных отходов (лигнина). Дополнительные исследования по доработке предлагаемой биотехнологии при необходимости будут осуществлены с целью адаптации применения эколобиопрепарата для конкретных условий и, возможно, дополнительного включения в состав препарата некоторых аборигенных видов микроорганизмов, в частности рода *Arthrobacter*.

Выводы.

1. Считаю целесообразным для утилизации органических техногенных отходов (лигнин, целлюлоза и др.) использование биологического метода.

2. Предлагаем с целью использования и внедрения биологического препарата экологического назначения «Центрум-MMS» проведение на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности предварительных натурных испытаний.

3. Необходимо продолжить проведение научно-исследовательских работ по выделению из естественных экологических ниш перспективных микроорганизмов, обладающих способностью к утилизации промышленных отходов, содержащих лигнин, с целью усовершенствования или создания на их основе новых эффективных моно- или поликомпонентных биологических препаратов экологического назначения.

Список литературы

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году». – М.: Минприроды России; НИА-Природа. – 2017. – 760 с.

2. Зайцев, В.А. Промышленная экология: учебное пособие / В.А. Зайцев. – М.: Бином, 2012. – 382 с.

3. Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года: Указ Президента Российской Федерации от 19 апреля 2017 г. № 176 // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_215668.

4. Экологическая биотехнология: Сб. статей / Под ред. К.Ф. Форстера, Д.А. Дж. Вейза. – Л.: Химия, 1990. – 384 с.

5. Кузнецов, А.Е. Прикладная экобиотехнология / А.Е.Кузнецов. – 2-е изд. – М.: Бином, 2012. – 629 с.

6. Вигдорович, В.И. Теоретические основы, техника и технология обезвреживания, переработки и утилизации отходов / В.И. Вигдорович, Н.В. Шель, И.В. Зарапина. – М.: КАР-ТЭК, 2008. – 215 с.

7. Наумова, Р.П. Экологическая биотехнология / Р.П. Наумова. – Казань: Казанский государственный университет, 2007. – С. 301–325.

8. Елинов, Н.П. Основы биотехнологии / Н.П. Елинов. – СПб.: Издательская фирма «Наука», 1995. – 600 с.

9. Пат. Российская Федерация 2428471, МПК C12N 1/26, B09C 1/10, C02F 3/34, C12R 1/39, C12R 1/01. Экобиопрепарат «Центрум-MMS» для очистки от нефти и нефтепродуктов / Забокрицкий А.Н., Минягин М.С., Забокрицкий Н.А., Забокрицкий А.А.; заявитель и патентообладатель Забокрицкий А.Н. – № 2010118670/10; заявл. 11.05.10; опубл. 10.09.11. – 11 с.

10. Пат. Российская Федерация 2650864, МПК C12N 1/20, C02F 3/34, B09C 1/10. Применение экобиопрепарата «Центрум-MMS» для очистки от нефти и нефтепродуктов в качестве биологического деструктора водных растворов несимметричного диметилгидразина / Забокрицкий А.А., Савиных Д.Ю., Тарабара А.В., Зорин А.Д., Забокрицкий Н.А., Занозина В.Ф., Хмелева М.В., Савиных С.Д.; заявитель и патентообладатель Забокрицкий А.Н., Савиных Д.Ю., Забокрицкий А.А. – № 2017133569; заявл. 26.09.17; опубл. 17.04.2018. – 12 с.

11. Пат. Российская Федерация 2668811, МПК C12N 1/20, B09C 1/10, C02F 3/34, C12R 1/39. Биологический деструктор нитроцеллюлозы / Забокрицкий А.А., Савиных Д.Ю., Тарабара А.В., Юшков Б.Г., Забокрицкий Н.А., Савиных С.Д.; заявитель и патентообладатель Забокрицкий А.Н., Савиных Д.Ю., Забокрицкий А.А. – № 2017144968; заявл. 20.12.17; опубл. 02.10.18. – 20 с.

12. Проект обезвреживания и рекультивации прудков-накопителей на территории бывшего Режевского химического завода» г. Реж Свердловской области. – ООО «Компания «ЭКОТЕХПРОМ», Екатеринбург. – 2013. – 319 с.

13. О проблеме ликвидации накопленных отходов в результате деятельности Байкальского ЦБК / Информационно-аналитические материалы к заседанию Межведомственной комиссии по вопроса охраны озера Байкал. – 2009. – 17 с.

14. Богданов, А.В. Экологически безопасная технология переработки накопленных коллоидных осадков шлам-лигнина ОАО «Байкальский ЦБК» / А.В. Богданов, А.С. Шатрова,

О.В. Тюкалова и др. // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология – 2018. – Т.8. – № 3. – С. 126-133.

15. Зельберг, Б.И. Технология обезвреживания и рекультивации шлам-лигнина ОАО «Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат» / Б.И. Зельберг, Г.Т. Хорошилов, Л.В. Шеметов и др. // Вестник МАНЭБ – 2018. – Т.23. – № 2. – С. 82-85.

16. Бутырин, М.В. Технологическая схема биодетоксикации и утилизации шлам-лигнина Байкальский ЦБК / М.В. Бутырин, Ш.К. Хуснидинов, Р.В. Замащиков // Материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Проблемы и перспективы устойчивого развития агропромышленного комплекса» посвященная памяти Александра Александровича Ежевского. – Иркутск, 2018. – С. 8-13.

17. Jing, L.I., Hongli, Y., Jinshui, Y. (2009). Bacteria and lignin degradation. Front. Biol. China, 4(1), 29–38.

18. Емцев, В. Т. Микробиология: учебник для академического бакалавриата / В. Т. Емцев, Е. Н. Мишустин. – 8-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2018. — 428 с.

УДК 378.14.015.62

О ПОСТРОЕНИИ СЕТЕВОЙ МАГИСТЕРСКОЙ ПРОГРАММЫ В ОБЛАСТИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Калинин И.С.¹, Шульга Н.А.¹, Петроченков А.Б.¹, Куцубина Н.В.²,
Овсянников М.В.³, Осиновских И.В.⁴

¹ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский
политехнический университет», г. Пермь

²ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический
университет», г. Екатеринбург

³ФГБОУ ВО Московский государственный технический университет им.
Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), г. Москва

⁴Группа предприятий «Пермская целлюлозно- бумажная компания», г. Пермь

Ключевые слова: программно-аппаратное моделирование, магистерская программа, образовательная траектория, компетентностная модель, профессиональная компетенция.

Аннотация. В статье рассматривается вопрос разработки сетевой магистерской программы в области программно-аппаратного моделирования. Предложена структура, график учебного процесса и компетентностная модель магистерской программы.

DEVELOPMENT OF THE NETWORK MASTER PROGRAM IN THE HARDWARE-IN-THE-LOOP SIMULATION

Kalinin I.S.¹, Shulga N.A.¹, Petrochenkov A.B.¹, Kutsubina N.V.²,
Ovsyannikov M.V.³, Osinovskikh I.V.⁴

¹Perm National Research Polytechnic University, Perm

²Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg

³Bauman Moscow State Technical University, Moscow

⁴Perm Pulp And Paper Company group of enterprises, Perm

Key words: hardware-in-the-loop simulation, master program, learning pathway, competency model, professional competence.

Abstract. The article discusses the issue of developing of the network master program in the hardware-in-the-loop simulation. The structure, schedule of the educational process and competency model of the master's program are proposed.

Одним из компонентов трансформируемой промышленности в рамках перехода к так называемой четвертой промышленной революции (*Industry 4.0*) является «симуляция и моделирование» [1]. Этот компонент позволяет использовать возможности современного имитационного моделирования при появлении принципиально новых объектов и целей моделирования [2]. Как следствие, возникает задача подготовки специалистов в области программно-аппаратного моделирования, которую предлагается реализовать в рамках разрабатываемой магистерской программы.

Ключевыми целями разработки такой программы являются [3]:

- Обеспечение предприятий-партнёров профессиональным персоналом в области автоматизации, энергетики и управления производством.
- Развитие научно-исследовательской деятельности университета с учетом потребностей производства.
- Выполнение организационно-методических, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на повышение и углубление профессиональных знаний инженерно-технических, научно-педагогических работников, студентов университета.
- Консультационная деятельность в сфере автоматизации, информационных технологий, инновационного менеджмента и управления проектами.

Структурно разрабатываемую программу магистратуры можно разбить на нескольких частей (рисунок 1):

- базовая часть;
- вариативная обязательная часть;
- вариативная часть по выбору студента;
- практическая часть;
- государственная итоговая аттестация.

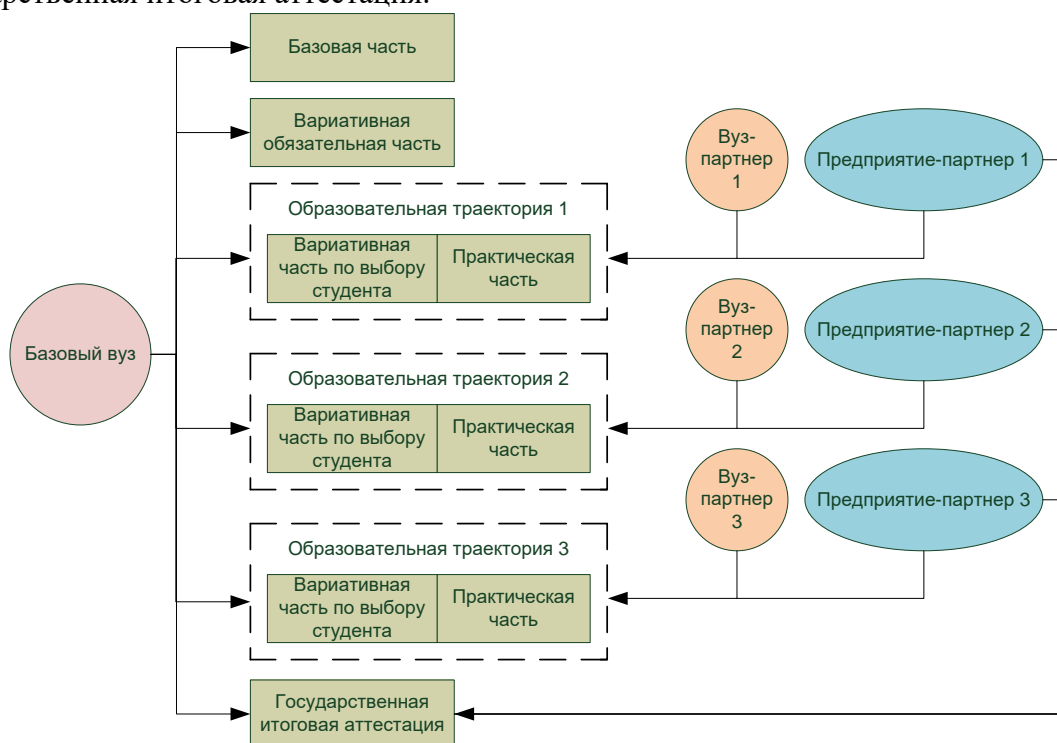


Рисунок 1 – Органиграмма процесса реализации образовательной программы

Базовая часть предназначена для формирования универсальных, и общепрофессиональных компетенций образовательной программы. В рамках базовой части реализуются фундаментальные дисциплины, общие для всех образовательных программ направления 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств».

В вариативной обязательной части предполагается формировать рекомендуемые профессиональные компетенции в области программно-аппаратного моделирования (*hardware-in-the-loop simulation*) автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) [4].

Одним из основных инструментов создания образовательной траектории студента является реализация вариативной части по выбору студента, в рамках которой углубляются и дополняются профессиональные компетенции в соответствии со спецификой предприятий-партнеров соответствующей отрасли. На этом этапе в образовательный процесс для проведения занятий привлекаются специалисты университетов-партнеров и предприятий-партнеров.

Практическая часть магистерской программы представлена как распределенными так и сконцентрированными в семестре практиками. В рамках практической части предусмотрены как научно-исследовательские семинары, так и сконцентрированные в семестре стажировки в университетах-партнерах и предприятиях-партнерах.

В рамках итоговой государственной аттестации происходит контроль сформированности компетенций, реализуемый всеми заинтересованными в реализации магистерской программы сторонами. На этом этапе специалисты предприятий-партнеров наравне со специалистами базового вуза не только включаются в состав государственной экзаменационной комиссии, но и ежегодно участвуют в обновлении оценочных средств итоговой аттестации.

График учебного процесса предлагаемой программы магистратуры состоит из четырех семестров обучения (рисунок 2). В первых трех семестрах предполагается проведение аудиторных занятий и распределенная в семестре практика. Кроме того, во втором семестре присутствует производственная практика на предприятии. В четвертом семестре предусмотрены аудиторные занятия, преддипломная практика на предприятии-партнере и государственная итоговая аттестация.

	1 семестр	2 семестр		
1 год обучения	Аудиторные занятия и научно-исследовательские семинары	Ст	Аудиторные занятия и научно-исследовательские семинары	Пр
2 год обучения	Аудиторные занятия и научно-исследовательские семинары	Аудиторные занятия	Пр	ГИА
	3 семестр	4 семестр		

Рисунок 2 – График учебного процесса образовательной программы

Для реализации образовательных траекторий во второй семестр добавлен модуль стажировки длительностью в четыре недели. В рамках этого модуля студенты проходят стажировку в вузах-партнерах или на предприятиях-партнерах, дающую возможность изучить постановочные задачи и специфику автоматизации технологических процессов и стендовых испытаний отрасли, соответствующей выбранной траектории обучения.

Содержание магистерской программы определяется компетентностной моделью выпускника, формируемой в соответствии с самостоятельно устанавливаемым образовательным стандартом ПНИПУ (СУОС) по направлению 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств». СУОС определяет перечень и индикаторы достижения как обязательных универсальных и общепрофессиональных компетенций в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) [5], так и рекомендуемых компетенций, формирующих специфику каждой магистерской программы, реализуемой вузом в рамках указанного направления. Перечень универсальных и общепрофессиональных компетенций определен ФГОС ВО и приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень универсальных и общепрофессиональных компетенций образовательной программы

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование компетенции выпускника образовательной программы
1	2
<i>Универсальные компетенции</i>	
Системное и критическое мышление	УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
Разработка и реализация проектов	УК-2. Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
Командная работа и лидерство	УК-3. Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
Коммуникация	УК-4. Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(ых) языке(ах)
Межкультурное взаимодействие	УК-5. Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
Самоорганизация и саморазвитие (в том числе здоровье сбережение)	УК-6. Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
<i>Общепрофессиональные компетенции</i>	
По области образования «Инженерное дело, технологии и технические науки»	ОПК-1. Формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки.
	ОПК-2. Осуществлять экспертизу технической документации.
	ОПК-3. Организовывать работу коллективов исполнителей, принимать исполнительские решения в условиях спектра мнений, определять порядок выполнения работ, организовывать в подразделении работы по совершенствованию, модернизации, унификации выпускаемых изделий, и их элементов, по разработке проектов стандартов и сертификатов, обеспечивать адаптацию современных версий систем управления качеством к конкретным условиям производства на основе международных стандартов.
	ОПК-4. Разрабатывать методические и нормативные документы, предложения и проводить мероприятия по реализации разработанных проектов и программ.
	ОПК-5. Выбирать аналитические и численные методы при разработке математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов.
	ОПК-6. Использовать современные информационно-коммуникационные технологии, глобальные информационные ресурсы в научно-исследовательской деятельности
по УГСН 15.00.00 «Машиностроение»	ОПК-7. Проводить маркетинговые исследования и подготавливать бизнес-планы выпуска и реализации перспективных и конкурентоспособных изделий в области машиностроения.
	ОПК-8. Подготавливать отзывы и заключения на проекты стандартов, рационализаторские предложения и изобретения в области машиностроения.
	ОПК-9. Подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения.
	ОПК-10. Организовывать работу по повышению научно-технических знаний работников.

1	2
по направлению подготовки 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств	ОПК-11. Применять методы стандартных испытаний по определению технологических показателей автоматизированного производственного оборудования
	ОПК-12. Применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы.

Такое большое количество общепрофессиональных компетенций обусловлено требованиями образовательного стандарта по направлению подготовки. Указанные общепрофессиональные компетенции предлагается реализовывать в рамках следующих базовых дисциплин (таблица 2):

Таблица 2 – Соотнесение базовых дисциплин и обязательных компетенций образовательной программы

Наименование дисциплины	Реализуемые компетенции
Философские проблемы науки и техники	УК-5, УК-6
Профессиональный иностранный язык	УК-4
Деловое сотрудничество и психология взаимодействия в коллективе	УК-3, УК-4
Проектирование систем автоматизации управления	УК-2, ОПК-2
Распределенные компьютерные информационно-управляющие системы	ОПК-4, ОПК-8
Интегрированные системы проектирования и управления автоматизированных и автоматических производств	ОПК-5, ОПК-11
Интеллектуальные системы и машинное обучение	ОПК-12
Производственная практика, междисциплинарный научно-исследовательский семинар	УК-1, ОПК-1, ОПК-6, ОПК-9
Организационно-экономическое проектирование инновационных процессов	УК-6, ОПК-3, ОПК-7, ОПК-10

Рекомендуемые компетенции в области разработки и испытании сложных встроенных систем реального времени с использованием программно-аппаратного моделирования представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Перечень рекомендуемых профессиональных компетенций образовательной программы

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование компетенции выпускника образовательной программы
<i>Рекомендуемые профессиональные компетенции</i>	
1	2
Моделирование и анализ	ПК-3.1. Способность проводить математическое моделирование процессов, оборудования, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления с использованием современных технологий, использовать методы интеллектуального анализа данных
	ПК-3.2. Способность выбирать оптимальные решения при создании продукции, разработке автоматизированных технологий и производств, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики и испытаний, управления производством, жизненным циклом продукции и ее качеством, программного обеспечения, их внедрении и эффективной эксплуатации
Информационные технологии	ПК-3.3. Способность использовать современные средства и системы управления базами и банками данных с учетом требований информационной безопасности
	ПК-3.4. Способность участвовать в разработке единого информационного пространства на базе виртуальных предприятий и моделировать технологические процессы предприятий с использованием современных средств и систем автоматизации

1	2
Инновационная деятельность	ПК-3.5. Способность разрабатывать планы и программы инновационной деятельности на предприятии, в т.ч. при управлении программами импортозамещения и освоения новой продукции и технологий

Реализовывать рекомендуемые профессиональные компетенции планируется при изучении дисциплин вариативной части образовательной программы (таблица 4).

Таблица 4 – Соотнесение дисциплин вариативной части и рекомендуемых профессиональных компетенций образовательной программы

Наименование дисциплины	Реализуемые компетенции
Профессионально-ориентированный перевод	ПК-3.5, УК-4
Математическое моделирование и планирование эксперимента	ПК-3.1, ПК-3.2
Хранение и защита компьютерной информации	ПК-3.3, ОПК-6
Современные системы управления базами и банками данных	ПК-3.3, ОПК-6
Проектирование единого информационного пространства виртуальных предприятий	ПК-3.4
Статистические методы интеллектуального анализа данных	ПК-3.1
Современные проблемы науки и производства	ПК-3.5
Интегрированная логистическая поддержка продукции на этапах жизненного цикла	ПК-3.2

Можно выделить следующие механизмы партнерского взаимодействия университетов и предприятий:

1) формирование партнерских отношений предприятий и университетов в области привлечения персонала:

- информирование студентов о предприятиях;
- практика на базе предприятий;
- предоставление предприятиям информации о студентах;

2) формирование партнерских отношений в области развития научно-исследовательской деятельности университетов:

- предоставление информации о технических задачах, решаемых предприятием
- создание лабораторий (материально-техническое оснащение, постановка исследовательских задач, предоставление возможностей внедрения разработок);
- предоставление тем для курсовых и дипломных проектов, для кандидатских разработок;

3) формирование партнерских отношений предприятия и учебного заведения в области повышения квалификации персонала:

- корректировка учебных программ в соответствии с потребностью предприятия (в дальнейшем – разработка программ спецкурсов);
- обучение специалистов предприятия в университете;
- проведение научно-практических конференций.

Авторский коллектив имеет опыт межвузовской [6] и межотраслевой кооперации [4, 7], «закрепления» за ведущими специалистами предприятий-партнеров ряда дисциплин с ключевыми компетенциями.

Таким образом, разработанная магистерская программа позволит готовить специалистов в области программно-аппаратного моделирования, обладающих высокой практической ориентированностью и специализированными компетенциями, сформированными под конкретный технологический процесс.

К ожидаемым эффектам для всех участников образовательного процесса также можно отнести [3, 6]:

1. Подготовка высококвалифицированных кадров для предприятия (для предприятия – выстраивание долгосрочных партнерских отношений с предприятием, для студента – выстраивание карьеры в успешном, инновационном и стабильно развивающемся предприятии).

2. Решение актуальных научно-исследовательских задач; адаптация, локализация проектных решений для региональных предприятий (в том числе в виде разработок типовых стандартов предприятий, отраслевых стандартов; подготовка к сертификации решений; подготовка и поддержка объектов интеллектуальной собственности; разработка учебных пособий, справочных руководств, электронных образовательных ресурсов).

3. Возможность использования технической, научно-исследовательской и методологической базы в образовательном и исследовательских процессах.

Список литературы

1. Schmitt, R., Heine, I., Jiang, R., Giedziella, F., Basse, F., Voet, H., Lu, S. On the future of ramp-up management // CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. – 2018. – Vol.23. – pp. 217-225.

2. Бочкарев С.В., Петроченков А.Б., Схиртладзе А.Г. Управление качеством: учебное пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2011. – 439 с.

3. Ляхомский А. В., Петроченков А. Б., Перфильева Е. Н. Концептуальное проектирование и направления инжиниринга повышения энергоэффективности предприятий // Электротехника. – 2015. – № 6. – С.4-7.

4. Даденков Д.А., Петроченков А.Б. Опыт создания лабораторно-тренажерного комплекса для подготовки специалистов в области автоматизированных систем управления технологическими процессами // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2009. – № 5 (87). – С.251-255.

5. Проект Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств [Электронный ресурс] / URL: <http://fgosvo.ru/fgosvo/144/141/18/42> (дата обращения: 12.04.2019)

6. Lyakhomskii A., Perfilieva E., Petrochenkov A., Bochkarev S. Conceptual design and engineering strategies to increase energy efficiency at enterprises: Research, technologies and personnel // IEEE Conference Publications. Proceedings of 2015 IV Forum Strategic Partnership of Universities and Enterprises of Hi-Tech Branches (Science. Education. Innovations). – 2015. – pp.44–47. DOI: 10.1109/IVForum.2015.7388249.

7. Овсянников М.В., Столяров К.И., Буханов С.А., Петроченков А.Б., Бочкарев С.В. Система контроля и диагностики бумагоделательной машины // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2015. – № 9. – т. 13. – С.56-63.

УДК 628.3

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА ОТ ЛИГНИН- И СЕРОСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ

Михайлова А.М.¹, Глушанкова И.С.¹

¹ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь

Ключевые слова: целлюлозно-бумажная промышленность, сточная вода, серосодержащие соединения, оптимальная доза реагента.

Аннотация. В статье представлены результаты исследований реагентной очистки сточных вод целлюлозно-бумажного производства. Исследовано влияние перекиси водорода, сульфата железа (II) и хлорида железа (III) на очистку сточных вод, определены оптимальные условия проведения процесса очистки. На основании экспериментальных данных установлено, что наиболее эффективно очистка сточных вод от лигносульфонатов, протекает

в присутствии коагулянта – железный купорос и катионного флокулянта – Праестол и анионного флокулянта – РусФлок.

JUSTIFICATION OF THE SELECTION OF REAGENTS FOR THE PURIFICATION OF WASTE WATER OF THE PULP AND PAPER PRODUCTION FROM LIGNIN AND SULFURIZING COMPOUNDS

Mikhaylova A.M.¹, Glushankova I.S.¹

¹Perm National Research Polytechnic University, Perm

Key words: pulp and paper industry, waste water, sulfur-containing compounds, optimal dose of reagent.

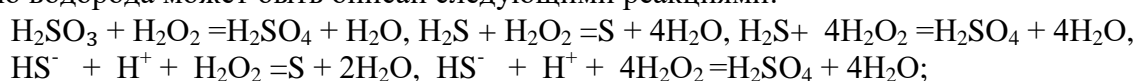
Abstract. The article presents the results of studies of the reagent treatment of wastewater pulp and paper production. The effect of hydrogen peroxide, iron (II) sulfate and iron (III) chloride on wastewater treatment was investigated, and the optimal conditions for the treatment process were determined. On the basis of experimental data, it was found that wastewater treatment from lignosulfonates, suspended solids is most effective; color reduction occurs in the presence of a coagulant – iron sulphate and cationic flocculant – Praestol, and an anionic flocculant – RusFlock.

Целлюлозно-бумажная промышленность - одна из ведущих отраслей лесного комплекса. Для производства бумажной продукции требуется большое количество воды. Например, расход воды на выработку одной тонны бумаги, включая производство полуфабрикатов, составляет 100-1500 м³. На предприятиях функционируют несколько подразделений, специфика которых обуславливает качественный и количественный состав образующихся сточных вод [1]. По воздействию на окружающую среду эта отрасль остаётся одной из проблемных по величине токсичных выбросов в атмосферу и сбросов в воду. Наиболее экологически опасными объектами на целлюлозно-бумажных предприятиях являются производства целлюлозы и полуцеллюлозы. В результате термообработки древесины варочными растворами (сульфатные и бисульфатные) и отделения целлюлозы от лигнина образуются щелока, а также промывные сточные воды, содержащие лигносульфонаты, сульфиты, сульфаты, сероводород и меркаптаны [2], переработка которых является сложной экологической и технологической проблемой. На большинстве предприятий отрасли сточные воды подвергаются механической и биологической очистке на общезаводских очистных сооружениях [1]. В связи с высоким содержанием в них биорезистентных лигносульфоновых кислот и лигносульфонатов не обеспечивается требуемое качество очищенной воды.

Также на территории предприятий и в зоне их воздействия периодически фиксируются выбросы дурнопахнущих соединений (сероводород, меркаптаны), что создает неблагоприятную экологическую и социальную ситуацию [3]. Источником эмиссий дурнопахнущих серосодержащих соединений являются производственные сточные воды [4], которые подаются на биологические очистные сооружения (БОС) открытого типа. Эксплуатация БОС также сопровождается периодическими выбросами дурнопахнущих веществ.

Целью работы являлась разработка способов снижения выбросов серосодержащих соединений на технологических площадках в результате очистки сточных вод реагентными методами. Анализ научно-технической информации позволил обосновать выбор следующих реагентов для исследования:

- для оперативного устранения запахов сероводорода (при залповых выбросах) выбран сильный окислитель - перекись водорода. Процесс окисления сульфит-, сульфид-ионов перекисью водорода может быть описан следующими реакциями:



- для снижения содержания сульфид-ионов и сероводородной кислоты в общем потоке сточных вод выбраны сульфат железа (II), сульфат железа (III) и хлорид железа (III), т.к. они способны образовывать труднорастворимые соединения с сульфид ионами



Соли железа обладают также высокой коагуляционной способностью[3].

- для повышения скорости осаждения хлопков коагулянта [5] в работе использовали промышленные флокулянты марок Праестол и РусФлок .

В зависимости от природы ионогенных групп все органические флокулянты делят на четыре типа: катионные, анионные, неионные и амфотерные. Катионные органические флокулянты при растворении в воде диссоциируют на положительно заряженный макроион и низкомолекулярные анионы, то есть приобретают в воде положительный заряд.

Анионные флокулянты при растворении в воде диссоциируют на отрицательно заряженный макроион и положительно заряженные низкомолекулярные катионы. В зависимости от количества ионогенных групп и их природы катионные и анионные флокулянты делятся на сильно-, средне- и слабоосновные. Неионные флокулянты не имеют ионогенных групп и растворяются в воде за счет образования водородных и других неионных связей. Амфотерные флокулянты содержат катионные и анионные группы, т.е. сочетают в себе свойства катионных и анионных флокулянтов [6].

Выбор реагентов проводили на основе анализа результатов пробного коагулирования воды. При проведении экспериментов использовали следующие растворы реагентов:

- сульфат железа (III) - раствор с концентрацией 10 г/л по основному компоненту – Fe(III). Раствор коагулянта содержит 3,57% основного вещества в пересчете на $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ или 1% по Fe (III);

- сульфат железа (II) – железный купорос - раствор с концентрацией 10 г/л по основному компоненту – Fe(II). Раствор коагулянта содержит 5 % основного вещества в пересчете на товарный продукт (ТП) - $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ или 1% по Fe (II);

- хлорид железа (III) - рабочий раствор коагулянта с концентрацией 10 г/дм³ приготовлен из 40% раствора хлорида железа разбавлением 1:10.

Исследование возможности использования перекиси водорода для оперативного устранения запахов

В испытаниях использовали 38% растворы перекиси водорода. По уравнениям возможных реакций окисления сульфит- и сульфид-ионов перекисью водорода определена теоретическая доза реагента, которая составила 147,9 мг/дм³.

Результаты испытаний по определению оптимальной дозы пероксида водорода представлены в таблице.1.

Таблица 1

Результаты исследований оптимальной дозы H_2O_2 для очистки сточных вод от серосодержащих соединений целлюлозно-бумажного производства

№ пробы	Vпробы сточной воды, см ³	V раб. раствора H_2O_2 , см ³	Доза H_2O_2 , мг/дм ³	Запах сероводорода, балл	Общее содержание HS^- , S^{2-} , H_2S , мг/дм ³	Эффективность очистки, %
1	100	0	0	0	27,2	-
2	100	0,20	173,2	отс.	6,4	76,4
3	100	0,40	346,4	отс.	3,84	85,9
4	100	0,60	519,6	отс.	1,6	94,1

Несмотря на высокую эффективность очистки воды от сероводорода с использованием перекиси водорода, практическая доза реагента в 2-2,5 раза превышает теоретическое значение и в связи с высокой стоимостью реагента его применение экономически нецелесообразно.

Выполнено исследование эффективности применения солей железа для очистки сточных вод от серосодержащих соединений.

Результаты исследований очистки воды от серосодержащих соединений с использованием солей железа и представлены в таблице. 2.

Таблица 2

Реагентная очистка сточных вод от серосодержащих соединений и лигносульфонатов в присутствии флокулянтов марки Праестол

№	Вид Фл.	Доза реагента		рН	Оценка хлопье- образова- ния, баллы	Показатели качества очищенных сточных вод		
		г/дм ³ по ТП – коаг.	мг/дм ³ по Фл.			Цвет- ность, °Ц	Гидро- суль- фид- ион, мг/дм ³	Э,%
Очистка сточных вод от сульфид-иона с использованием раствора железного купороса								
1	отс.	отс.	отс.	8,0	отс.	Более 800	25,5	отс.
2	отс.	0,25	0	9	4	150	9,6	62
3	отс.	0,3	0	9	6	100	1,1	95,7
Очистка сточных вод с использованием коагулянтов и флокулянтов Коагулянт - железный купорос								
1	отс.	отс.	отс.	8,0	отс.	Более 800	36,16	
2	НИ	1,53	1,0	9,0	4	80		
3	К	1,53	1,5	9,0	4	150	2,12	94
4	А	1,53	2,5	9,0	4	100		
Очистка сточных вод с использованием коагулянтов и флокулянтов Коагулянт - хлорид железа (III)								
1	А	1,2	1,0	9,0	4	250		
2	К	1,2	1,5	9,0	6	100	8,24	77
3	НИ	1,2	1,5	9,0	4	200		

К –катионный флокулянт, А –анионный флокулянт, НИ –неионогенный флокулянт

Установлено, что наиболее эффективным реагентом очистки сточных вод от серосодержащих соединений является железный купорос (сульфат железа II); определены оптимальные условия проведения процесса: рН сточной воды - 8,5, доза реагента по товарному продукту 9,5-10 мг/мг сульфид-ионов. При этом практическая доза реагента близка к теоретическому значению. При концентрации сульфид-ионов в исследуемой воде 25,0 мг/дм³ доза реагента по товарному продукту - железный купорос составляет 237 – 250 мг/дм³.

Для увеличения эффекта коагуляционной очистки были использованы флокулянты марок Праестол, исследовано влияния основности и дозы флокулянта на эффективность хлопьеобразования и осаждения взвешенных веществ (рисунок 1).

Анализ полученных результатов показал, что наиболее эффективно очистка сточных вод от лигносульфонатов, взвешенных веществ, снижению цветности протекает в присутствии коагулянта – железный купорос и катионного флокулянта - Праестол. Установлены оптимальные условия проведения процесса: доза коагулянта- 1,53 г/дм³, доза флокулянта – 1,5 мг/дм³, рН = 8,5. При проведении процесса в оптимальном режиме образуется легко осаждаемый уплотненный осадок, достигается очистка от сульфид-иона на 94%, цветность воды снижается в 3...4 раза.

В работе также проведена сравнительная оценка эффективности применения флокулянтов марок Праестол и РусФлок.

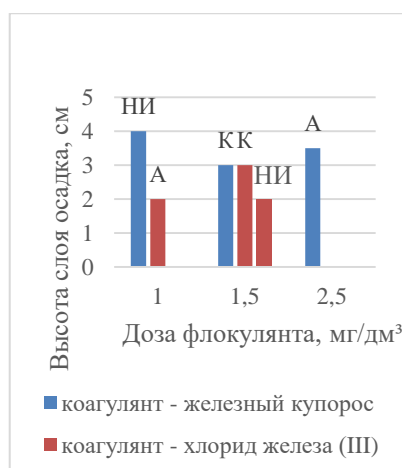


Рисунок 1– Влияние дозы и марки флокулянта марки Праестол на эффективность хлопьеобразования и осаждения примесей

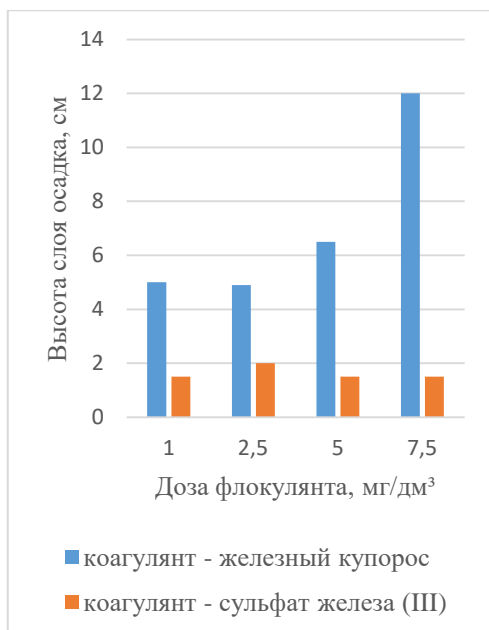
На рисунке 2 представлены зависимость высоты слоя осадка взвешенных веществ, образующегося в присутствии флокулянтов катионного и анионных флокулянтов марки РусФлок. При оптимальных дозах коагулянтов исследовалось влияние природы флокулянта на эффективность очистки сточных вод от лигносульфонатов, результаты исследований приведены в таблице 3. На основании проведенных исследований было установлено, что флокулянт РусФлок анионный высокой молярной массы наиболее эффективен в присутствии коагулянта – железный купорос. Оптимальная доза 1,0 -1,5 мг/дм³. Очистка по ХПК составляет 70%, по цветности более 90%.

Таблица 3

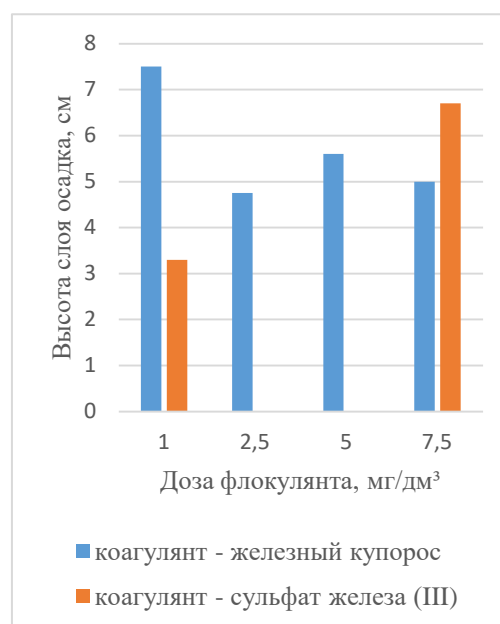
Результаты по очистке сточных вод в присутствии флокулянтов марки РусФлок при оптимальных условиях проведения процесса

№	Доза реагента		рН	Оценка хлопье- образования, баллы	Показатели качества очищенных сточных вод		
	г/дм ³ по ТП	мг/дм ³ по флокулян ту			ХПК		Цветность. °Ц
					мгО/дм ³	Э, %	
1	2	3	4	5	6	7	8
Очистка сточных вод с использованием коагулянтов и флокулянтов Коагулянт - железный купорос, флокулянт – катионный 504							
1	0	0	8,0	0	4000		Более 800
2	1,53	2,5	9,0	6	1345,6	66	100
Очистка сточных вод с использованием коагулянтов и флокулянтов Коагулянт - железный купорос, флокулянт – анионный 254							
1	1,53	1,0	9,0	4	1160	71	100
2	1,53	5,0	9,0	4	997,6	75	100
Очистка сточных вод с использованием коагулянтов и флокулянтов Коагулянт - железный купорос, флокулянт – анионный 201							
1	1,53	1,0	9,0	6	1276	68	100
1	1,53	5,0	9,0	4	1020,8	74	100

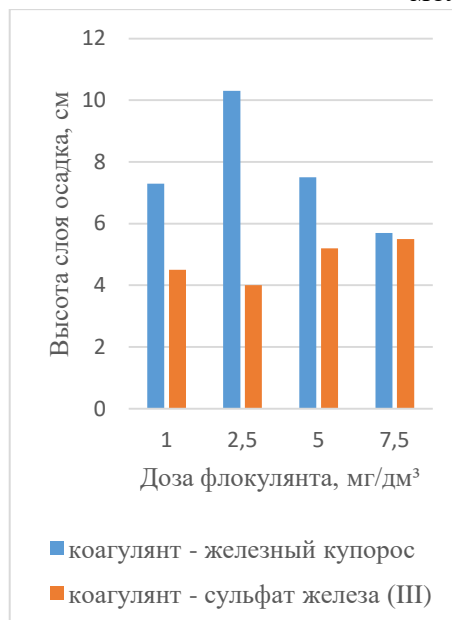
Сравнение активности катионных и анионных флокулянтов по показателям: время осаждения, высота слоя осадка, ХПК осветленной воды, показало, что для коагуляционной очистки сточных вод, содержащих лигносульфонаты, наиболее эффективно применение анионных флокулянтов при очистке сточной воды в присутствии коагулянта – железный купорос и катионных флокулянтов при сточной воды в присутствии коагулянта сульфат железа (III).



а) РусФлок (катионный)



б) РусФлок (анионный высокой молярной массы)



в) РусФлок (анионный средней молярной массы)

Рисунок 2– Высота слоя осадка взвешенных веществ при различных дозах флокулянта марки РусФлок

Для очистки сточных вод от взвешенных и коллоидных примесей, осветления воды и снижения содержания в ней гидосульфид-ионов целесообразна коагуляционная обработка воды в присутствии флокулянтов. В ходе проведения исследований обоснован выбор коагулянтов и флокулянтов и условия проведения процесса. Установлено, что наиболее целесообразно для очистки сточных вод, как от взвешенных веществ, так и серосодержащих соединений использовать в качестве реагента – железный купорос. Условия проведения процесса:

- рН – 8,7-9,0; доза коагулянта – 1,0 - 1,5 г/дм³ по товарному продукту в зависимости от исходной цветности воды и ХПК;

- флокулянт анионный РусФлок высокой молярной массы (доза флокулянта - 1,0-1,5 мг/дм³) или флокулянт катионный Праестол (доза 1,5 мг/дм³).

Список литературы

1. Проскуряков, В.А. Очистка сточных вод в химической промышленности [Текст] / Проскуряков, В.А., Шмидт Л.И. - Л. «Химия», 1977. - 464с.
2. Богомолов, Б.Д. Переработка сульфатного и сульфитного щелоков [Текст]: Учебник для вузов / Богомолов Б.Д. Сапотницкий С.А. и др. - М.: Лесная промышленность, 1989. - 360 с.
3. Шулаев Н.С. Очистка сульфидсодержащих сточных вод в электролизере с растворимым железным анодом // Башкирский химический журнал, 2006, том 13, №3, с. 78-81.
4. Пат. 2165892 РФ Способ очистки сточных вод от сульфидов / Быковский Н.А., Быковская Л.Н., Шулаев Н.С., Абрамов В.Ф., Рыскулов Р.Г.// Заявка №99122118/12; заявл. 20.10.1999.
5. Седова Е.Л., Воронцов К.Б. Коагуляционно-адсорбционная очистка лигнинсодержащих сточных вод // nauka-rastudent.ru: электронный журнал, 2014, №7, <http://nauka-rastudent.ru/7/1946/>
6. Чалакова Е. С. Эффективность использования флокулянтов различных типов после коагуляционной очистки лигнинсодержащих сточных вод [Текст] / Е. С. Чалакова // Инновационные технологии в науке и образовании : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. (Cheboksary, 18 дек. 2015 г.) / редкол.: О. N. Shirokov [и др.]. — Cheboksary: ЦНС «Интерактив плюс», 2015. — № 4 (4). — С. 34–36. — ISSN 2413-3981.

УДК 676.6

ПЕРСПЕКТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ТРЁХСЛОЙНОГО ФОРМОВАНИЯ ТЕСТ-ЛАЙНЕРА С БЕЛЫМ ПОКРОВНЫМ СЛОЕМ В РОССИИ

Мкртычян А.И.¹, Мидуков Н.П.¹, Куров В.С.¹, Смолин А.С.¹

¹ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна

Ключевые слова: многослойный картон, макулатура, тест-лайнер, белый покровный слой.

Аннотация. В статье рассматриваются перспективы развития многослойного формования картона тест-лайнера в России. Особое внимание уделено повышению белизны многослойного картона тест-лайнера с белым покровным слоем и снижению его стоимости за счёт очистки подслоя, производимого из газетной и журнальной макулатуры. Приводятся зависимости белизны и механических показателей от содержания очищенного от печатной краски подслоя трёхслойного картона тест-лайнера.

THE PROSPECT OF USE OF TECHNOLOGY OF THREE-LAYER FORMATION OF THE TEST-LINER WITH THE WHITE SURFACE LAYER IN RUSSIA

Mkrtychyan A.I.¹, Midukov N.P.¹, Kurov V.S.¹, Smolin A.S.¹

¹Saint-Petersburg state university of industrial technology and design

Key words: multilayer cardboard, recovered paper, test-liner, white surface layer.

Abstract. In article the prospects of development of multilayered formation of test-liner cardboard in Russia are considered. Special attention is paid to increase in whiteness of multilayered test liner cardboard with a white surface layer and to decrease in its cost due to deinking of the middle layer made from newspaper and journal recovered paper. Dependences of whiteness and mechanical indicators on the maintenance of the middle layer of three-layer test-liner cardboard deinked from printing paint are given.

Объект исследования - многослойный картон, сырьём для которого являются разные виды макулатуры для нижнего верхнего и среднего слоёв.

В России картон лайнер производится двухслойный, причём покровный слой производится из первичного волокна, который в 3,5 раза дороже вторичного. Трёхслойный картон тест-лайнер позволил бы эффективно использовать макулатуру: во-первых, потому, что дешёвое сырьё с низкими бумагообразующими свойствами можно подать в средний слой, не снижая сильно механические показатели картона в целом; во-вторых, средний слой также как и покровный может быть очищен от печатной краски, что позволит существенно повысить белизну картона.

В России одно из крупнейших предприятий производитель картона с белым слоем ОАО «Монди Сыктывкарский целлюлозно-бумажный комбинат» изготавливает двухслойный топ-вайт-лайнер. Нижний слой состоит из макулатуры гофрокартона. Верхний слой состоит из первичной белёной целлюлозы. В Европейских странах используется 100 % макулатуры при производстве картона с белым слоем. Таким образом, в Европе решается проблема ресурсосбережения, снижается экологическая опасность от производства белёной целлюлозы.

Главной проблемой в России является отсутствие эффективных технологий облагораживания макулатуры и отсутствие высокопроизводительного трёхслойного формующего устройства. Необходима оптимизация процесса облагораживания с целью получения картона вайт-лайнера из 100 % макулатуры с высокой белизной и достойными механическими параметрами. Кроме того, необходимо получить картон с низкой стоимостью.

Наименьшей стоимостью обладает газетная макулатура. Её много в крупных мегаполисах, а снизить стоимость картона и повысить белизну можно за счёт трёхслойного формования. облагораживание газетной макулатуры, основы подслоя тест-лайнера с белым покровным слоем в этой концепции является актуальной задачей для нашей страны.

Поэтому перспективным направлением исследования является определение зависимостей между содержанием очищенной от печатной краски макулатуры и поверхностными, механическими свойствами тест-лайнера с белым покровным слоем.

Разработка практических рекомендаций по внедрению технологии очистки макулатурной массы на отечественных предприятиях, производящих тест-лайнер, также являлось одной из задач исследования. Формующие устройства для производства трёхслойного тест-лайнера сегодня постоянно модернизируются. В мире существует широкий выбор оборудования для многослойного формования картона (рисунок 1).

В России наступил переходный период, когда многослойный картон, производящийся с помощью вакуумформеров, обладающих низкой производительностью стал формироваться с помощью формующих устройств с двумя сеточными столами. С повышением доли использования макулатуры в России формующие устройства с двумя сеточными столами для производства топ-вайт-лайнеров сегодня заменяются на более дорогие формующие устройства с тремя сеточными столами для производства тест-лайнеров с белым покровным слоем. Три сеточных стола позволяют при равной массе квадратного метра повысить механические и поверхностные показатели картона тест-лайнера.

Трёхслойный картон тест-лайнер (рисунок 2) содержал следующие виды сырья: подготовленную массу из макулатуры гофрокартона для нижнего слоя; очищенную от печатной краски массу из газетной макулатуры для среднего слоя и очищенную от печатной краски писче печатную макулатуру для верхнего белого слоя.

Деинкинг макулатурной массы для среднего слоя проводился согласно европейскому стандарту. Подготовка образцов для определения параметров деинкинга осуществлялась согласно методу «INGEGE» Test sheet preparation of pulp sand filtrates from deinking processes. Условия проведения экспериментов соответствовали условиям, приведённым в Европейских стандартах. Основные физико-механические показатели трёхслойных отливок определялись в лаборатории контроля качества бумаги и картона на стандартных приборах, согласно общепринятым европейским стандартам.



Рисунок 1 – Формующие устройства для производства многослойного тест-лайнера

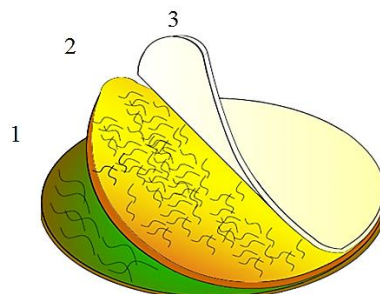


Рисунок 2 – Трёхслойная отливка с белым слоем: 1 – слой из макулатуры гофрокартона; 2- слой из газетной макулатуры; 3-слой из писче печатной макулатуры

Разрывная длина, предел прочности при разрыве, модуль упругости, жесткость в продольном направлении и другие определялись на приборе «L&W Tensile Tester», согласно стандартам DIN 53112, 1; ISO 1924/2, 12. Жесткость при изгибе определялась на приборе «L&W Bending Tester», согласно ISO 2493. Соппротивление продавливанию определялось на измерителе «L&W Bursting Strength Tester» согласно ISO 2758.

Новизной обладают зависимости содержания очищенного подслоя из газетной макулатуры, определяющие белизну и механические характеристики трёхслойного тест-лайнера.

Очистка макулатуры от печатной краски проводилась с помощью комплекса химических реагентов согласно методике представленной на рисунке 3.

В качестве реагентов использовались: раствор щёлочи NaOH, жидкое стекло, перекись водорода, олеиновая кислота. Трёхслойный картон получался по методике представленной на рисунке справа. Представленные методы позволили получить трёхслойный тест-лайнер с очищенным от печатной краски подслоем и верхним белым слоем. Отливки тестировались в лаборатории контроля качества стандартными методами.

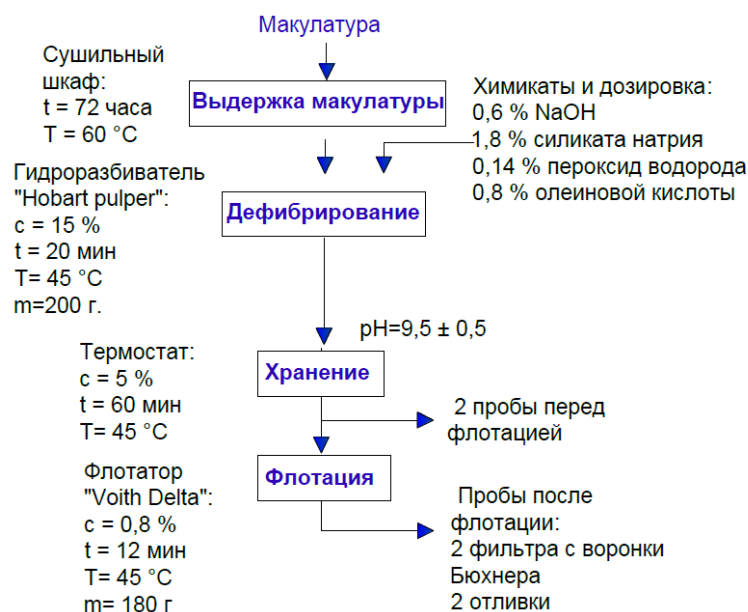
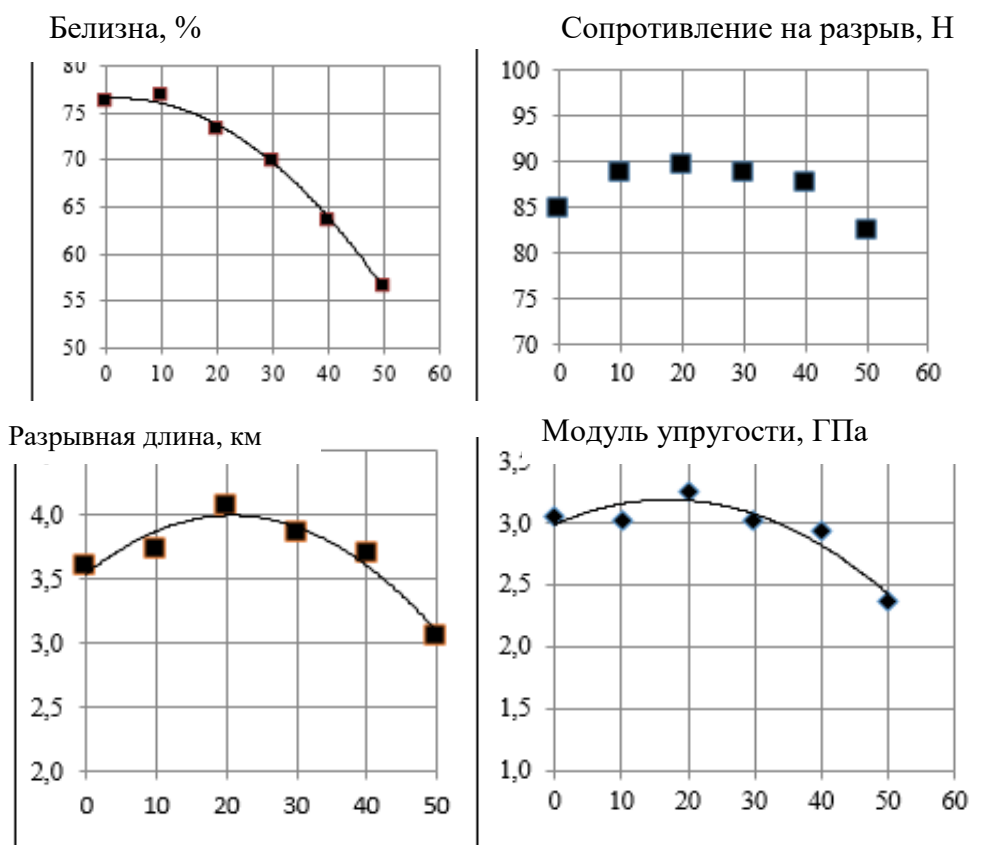


Рисунок 3 – Деинкинг макулатурной массы для формирования среднего слоя

Результаты экспериментов, представляющие собой зависимости между содержанием очищенного от печатной краски подслоя и поверхностными, механическими показателями представлены на рисунке 4.



Содержание очищенной от печатной краски макулатуры в среднем слое, %

Содержание очищенной от печатной краски макулатуры в среднем слое, %

Рисунок 4– Зависимость поверхностных и механических показателей от содержания очищенной от печатной краски газетной макулатуры в среднем слое

Из графиков видно, что содержание очищенной от печатной краски макулатурной массы в подслое трёхслойной отливки снижает белизну, так как снижается доля верхнего облагороженного слоя. Однако с повышением доли подслоя снижается себестоимость тест-лайнера, так как в подслое добавляются волокна с низкими бумагообразующими свойствами, например газетная макулатура МС-8Б.

При содержании очищенной от печатной краски макулатуры в 20-30 % белизна трёхслойного картона находится в пределах 70 -75 %. Повышение содержания облагороженной макулатуры в среднем слое выше 40 % не рентабельно, так как резко снижается и белизна (менее 70 %) и механические параметры. Из графиков видно, что наибольшей механической прочностью обладают отливки с равномерным содержанием волокон по слоям (содержание макулатуры по слоям от 20 до 30 %). Как известно из литературы [1], повышение количества слоёв повышает механическую прочность за счёт равномерного распределения волокон по слоям при формовании. При содержании облагороженной массы МС-5Б равной 50 % отливка содержит 50 % макулатуры МС-5Б и 50 % макулатуры МС-8Б – это двухслойный картон, содержащий в большей степени сырьё с наименьшей прочностью. Поэтому наблюдается минимальное значение прочностных параметров.

Невысокие механические характеристики отливок без макулатуры МС-8Б вызваны отсутствием третьего слоя. Однако этот вариант двухслойной отливки имеет более высокую прочность за счёт содержания наиболее прочных волокон макулатуры МС-7Б.

Максимальную прочность имеет отливка с содержанием макулатуры МС-8Б в среднем слое равном 20 %. Высокая прочность этого варианта объясняется двумя факторами: наличием трёх слоёв и с низким содержанием газетной макулатуры с меньшей прочностью макулатурных волокон.

Таким образом, в промышленных условиях наиболее предпочтительным является вариант с содержанием макулатурной массы МС-8Б 20 %, что позволяет получить максимальную механическую характеристику трёхслойного тест-лайнера с белизной в интервале 70...75 %.

Список литературы

1. Мидуков Н. П., Куров В.С., Смолин А.С. Производство многослойного картона тест-лайнера с белым слоем/ ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб., 2017. -206 с.

УДК 676.264

ИНЖЕНЕРНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТАРЫ ДЛЯ МОЛОЧНО-КИСЛОЙ ПРОДУКЦИИ

Моисеева Л.Р.¹, Сиваков В.П.¹

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург

Ключевые слова: упаковка, морфологический анализ, бумага, полиэтилен, органическое стекло, экология, утилизация.

Аннотация. Рассмотрено разнообразие вариантов упаковки для молочно-кислой продукции. Выявлены и исследованы варианты, отвечающие санитарно-гигиеническим и экологическим нормам. С учетом наложенных ограничений, связанных с утилизацией материалов, выбраны наиболее перспективные варианты тары для молочно-кислой продукции.

ENGINEERING JUSTIFICATION OF TARE FOR MILK-ACID PRODUCTS

Moiseeva L. R.¹, Sivakov V.P.¹

¹Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg

Key words: *packaging, morphological analysis, paper, polyethylene, organic glass, ecology, recycling.*

Abstract. *Considered a variety of packaging options for lactic acid products. Identified and investigated options that meet sanitary and environmental standards. Given the restrictions imposed on the disposal of materials, the most promising packaging options for lactic acid products were selected.*

Упаковывание продукции – сложная многофункциональная задача, эффективное решение которой тесно связано с созданием и производством современных упаковочных материалов, функционально совершенной упаковки. Одной из составляющей этой задачи является безопасная утилизация упаковки после использования упакованного продукта. Безопасная утилизация и переработка использованной упаковки – это проблема, входящая в рейтинг самых острых проблем современного общества [1]. Именно поэтому так важно, чтобы упаковка была не только удобной для потребителя и выполняла свои основные функции, но и в процессе ее утилизации наносила наименьший вред окружающей среде.

Для того, чтобы определить какая именно упаковка отвечает данному экологическому требованию был проведен морфологический анализ упаковки для молочно-кислой продукции. Морфологический анализ (метод морфологического анализа) — основан на подборе возможных решений для отдельных частей задачи (так называемых морфологических признаков, характеризующих устройство) и последующем систематизированном получении их сочетаний (комбинировании). Метод разработан швейцарским ученым Фрицем Цвикки [2].

Для проведения морфологического анализа учитывались следующие параметры упаковки: объем, форма, материал. Перед проведением морфологического анализа было проведено сравнение данных параметров за 1984 год и на начало 2019 года. Выявлены причины, по которым та или иная упаковка используется более активно, а другая упаковка потеряла свою актуальность. Анализируемые параметры за 1984 год приведены в таблице 1.

Таблица 1

Данные о параметрах упаковки 1984 года

Варианты	Анализируемые параметры		
	А (объем, л)	Б (форма)	В (материал)
1	0,25	Сфера	Стекло
2	0,5	Цилиндр	Металл
3	1,0	Конус	Бумага/картон
4	2,0	Параллелепипед	Пластмасса
5	3,0	Тетраэдр	Полимерная пленка
6		Пакет	Композит

На сегодняшний день не используется потребительская тара больших объемов, так как нет надобности закупать кисло-молочную продукцию в таком количестве. Эта продукция всегда есть в шаговой доступности в магазинах. Маленькие объемы наиболее оптимальны с точки зрения санитарных и гигиенических норм, так как продукт имеет меньшую вероятность испортиться до того, как его употребят.

В таблице 2 представлены параметры для морфологического анализа упаковки молочно-кислой продукции на начало 2019 года.

Таблица 2

Параметры для морфологического анализа упаковки для молочно-кислой продукции

Варианты	Анализируемые параметры		
	А (объем, л)	Б (форма)	В (материал)
1	0,2	Пакет	Стекло
2	0,25	Цилиндр	Металл
3	0,33	Конус	Бумага/картон
4	0,5	Параллелепипед	Полимерная пленка
5	1,0	Тетраэдр	Композит

Для визуального представления на основе этих же данных был составлен «морфологический ящик» - Куб Цвики (рисунок 1).

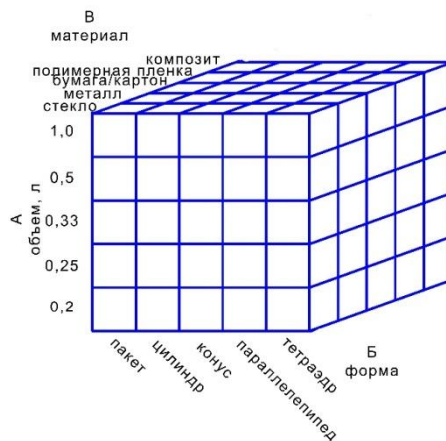


Рисунок 1– Куб Цвики для анализа вариантов тары для молочно-кислой продукции

В результате морфологического анализа из 125 возможных вариантов тары были выбраны 5 наиболее оптимальных вариантов упаковки с точки зрения санитарных экологических норм и опроса потребителей. Выбранные пять вариантов отражены на рисунке 2.

Вариант 1. 1 л., пакет, полимерная пленка. Преимущество пакета из полимерной пленки в том, что его удобно производить и утилизировать, небольшой расход материала вследствие чего, затраты на упаковку минимальны.

Вариант 2. 0,33 л, цилиндр, стекло). Преимущество стеклянной тары в том, что он весьма удобен в эксплуатации, если в конструкции данной упаковки предусматривается металлическая закручивающаяся крышка. Удобно будет для ношения с собой. С точки зрения санитарных норм стекло одно из самых безопасных материалов для хранения продуктов. С точки зрения утилизации – идеален, так как может использоваться повторно без переработки, но нуждается в очистке.

Вариант 3. 0,5 л., параллелепипед, картон в составе композитного материала. Картонная упаковка хороша с точки зрения утилизации, так как изготавливается из материала, который можно использовать вторично практически полностью. Так же он разлагается без вреда для окружающей среды. Объем 0,5 л оптимален, если содержимое нужно сохранить свежим для быстрого употребления.

Вариант 4. 0,2 л., конус, стекло. Предложенный вариант стеклянной конической тары очень удобен с точки зрения транспортировки и эксплуатации. Если конструкция будет предусматривать закручивающуюся крышку, данный объем будет идеален для детского питания и для ношения с собой. Из недостатков материала дороговизна, хрупкость и большая масса. С точки зрения утилизации идеальный вариант.

Вариант 5. 0,33л., цилиндр, металл - алюминий. Вариант оптимален для разового использования, например, выпить где-нибудь в дороге. С точки зрения утилизации, достойный вариант, так как металл можно переплавить и использовать вторично в непродовольственной среде.

Варианты упаковки 2, 3 и 4 являются наиболее перспективными с точки зрения экологии и санитарно-гигиенических норм. Морфологический ящик с изображенными в нем перспективными вариантами представлен на рисунке 3.

Вариант упаковки из картона является перспективным с точки зрения повторного использования в качестве макулатурного сырья даже в составе композитных материалов. На предприятиях, занимающихся переработкой макулатуры используют гидроразбиватели для разволокнения сырья. Одновременно с этим может происходить разделение композитного материала (картон-полиэтилен), из которого изготавливается упаковка для молочно-кислых продуктов. Данный вариант перспективен во всех анализируемых объемах (0,2 л, 0,25 л, 0,33 л, 0,5 л, 1,0 л).

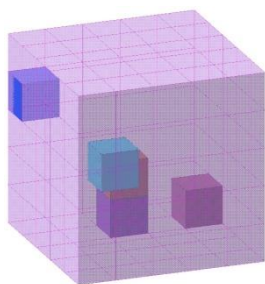


Рисунок 2— Расположение оптимальных вариантов упаковок в кубе Цвики

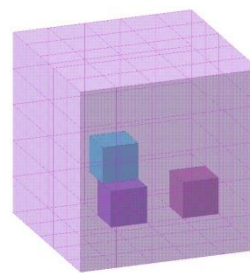


Рисунок 3— Расположение перспективных вариантов упаковок в кубе Цвики

Технология вторичной переработки отходов ламинированного картона или бумаги, упаковки типа Тетра Пак предоставляет возможность использовать вторично материалы из которых состоят отходы. На сегодняшний день отходы ламинированного картона или бумаги попросту вывозят на полигоны. Пример упаковки из композитного материала, в основе которого используется картон представлен на рисунке 3.

Упаковка из комбинированных материалов широко применяется для фасовки соков, напитков, вин и прочих продуктов. Её состав для переработчиков вторичного сырья очень интересен (рисунок 4): 75% - целлюлоза, 20% - полиэтилен, 5% - алюминий. Все эти компоненты пользуются стабильным спросом на рынке вторичного сырья, однако, комплексно переработать комбинированную упаковку не так-то просто. Это связано с её многослойной структурой, т.к. все компоненты упаковки крепко спаяны друг с другом, путем горячей экструзии, это сильно затрудняет технологию переработки, однако, существуют схемы полного разделения данной упаковки, очистки волокна и полиэтилена [3].

В последнее время для изготовления упаковки все чаще используются полимерные материалы, которые сравнительно дешевые и обладают физико-химическими свойствами, обеспечивающие удобство их изготовления, эксплуатации и позволили выделить их среди других упаковочных материалов.

Однако такие качества полимерных материалов, как возможность повторной переработки и дешевизна производства привели к экологическим проблемам. Упаковочные отходы вносят значительный вклад в загрязнение окружающей среды: ежегодно на территории РФ образуется 160 млн. м³ твердых бытовых отходов, из которых более 50 % составляет использованная упаковка (бумага, пластмассы, в меньшей степени металлы и древесина). Удивительно, но на долю упаковки приходится более 15% продукции, потребляемой человеком. При этом для ее изготовления используется более 20% пластика, производимого в мире, хотя большая часть упаковки предназначена для одноразового потребления.



Рисунок 4 – Упаковка из композитного материала

Данную проблему можно решить, если использовать многоразовую тару. Как, например, это было реализовано в Советском Союзе с тарой для молочной продукции. Однако, использование в качестве материала для многоразовой тары силикатного стекла повлечет за собой увеличение затрат на транспортировку, вследствие большей плотности стекла и его высокой хрупкости, по сравнению с полимерными материалами. Конечно, можно немного

скорректировать физико-химические свойства стекла, внося изменения в состав шихты. Тогда можно скорректировать формовочные характеристики стекла, повысить прозрачность, уменьшить преломление и так далее. Но тогда встает вопрос целесообразности данных модификаций.

Несмотря на то, что стеклянная тара достаточно тяжелая и хрупкая, к тому еще и не из самых дешевых, сейчас, когда с каждым годом экологическое состояние нашей планеты ухудшается с каждым годом, целесообразнее производить упаковку, которая будет наносить наименьший вред. Как показал опыт Советского Союза, стеклянная тара, находящаяся в обороте, способствует уменьшению проблем с мусором. Высокая стоимость данной тары будет компенсироваться ее многократностью, если из стоимости товара вычесть стоимость тары при ее возвращении производителю для повторного использования.

Наука в целом и упаковочная промышленность в частности сделали огромный шаг на пути развития, в особенности в мелкотарном производстве. Так, для совокупного решения данной проблемы можно использовать для производства многоразовой упаковки материал полиметилметакрилат (ПММА). Так же он известен под названиями органическое стекло (оргстекло), плексиглас, акриловое стекло, акрил и многими другими [4].

Изделия из оргстекла получают вакуумным формованием, пневмоформованием и штамповкой. Используется также метод холодного формования. Многие области применения этого полимеров пересекаются со стеклом, но оргстекло значительно проще обрабатывается и формуется, а также обладает меньшим весом.

Это соединение только формально именуют стеклом, но относится ПММА к совершенно иному классу веществ, о чём говорит само их название и чем в основном определяются ограничения свойств и, как следствие, возможностей применения, несопоставимых со стеклом по многим параметрам. Органические стёкла способны приблизиться по свойствам к большинству видов неорганических стёкол только в композитных материалах, однако огнеупорными они быть не могут. Стойкость к агрессивным средам органических стёкол также определяется значительно более узким диапазоном. Тем не менее, этот материал, когда его свойства дают очевидные преимущества (исключая специальные виды стёкол), используется как альтернатива силикатному стеклу.

Уже сейчас ПММА нашел широкое применение в медицине: Медицинские технологии и имплантаты полиметилметакрилата имеют хорошую степень совместимости с тканями человека. Возможность использования полиметилметакрилата в медицине говорит о том, что вред, наносимый им организму человека минимален или близок к нулю. Поэтому именно этот материал можно рассмотреть в качестве альтернативы силикатного стекла в упаковочной отрасли для производства многоразовой тары [5].

Несомненно, данный вопрос нуждается в дальнейшем изучении и проведении опытов и испытаний, подтверждающих или же опровергающих данную теорию. Но сама возможность использования полимерных материалов для производства многоразовой тары является достаточно перспективной и достойна последующего изучения.

Таким образом, с учетом наложенных ограничений санитарных норм, экологии и возможностью утилизации предложено реализовать 3 наиболее перспективных варианта потребительской упаковки для молочно-кислой продукции: упаковку из картона в составе композитного материала и тару из силикатного стекла с альтернативой замены данного вида стекла на оргстекло.

Список литературы

1.Шипинский В.Г. Оборудование для производства тары и упаковки [Текст] : учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по специальности «Упаковочное пр-во» / В. Г. Шипинский. – М. : ИНФРА-М ; Минск : Новое знание, 2012. – 624 с. – (Высшее образование). – Библиогр.: с. 623.

2.Морфологический анализ (изобретательство) // Википедия. [2017—2017]. Дата обновления: 05.02.2017. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=83494217> (дата обращения: 15.03.2019).

3. Переработка ламинированной бумаги и картона в целлюлозу и полиэтилен вторичный ПВД // Технологии переработки. . [2011—2017]. URL: <http://bumzavod.ru> (дата обращения: 12.03.2019).

4. Органическое стекло // Википедия. [2019—2019]. Дата обновления: 30.03.2019. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=98939216> (дата обращения: 30.03.2019).

5. Паламарчук А.А., Шишакина О.А., Кочуров Д.В., Аракелян А.Г. Современные технологии получения полиметилметакрилата // Международный студенческий научный вестник. – 2018. – № 6.; URL: <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=19300>

УДК 674.81

УТИЛИЗАЦИЯ КОРЫ СОСНЫ С ПОЛУЧЕНИЕ ДРЕВЕСНОГО ПЛАСТИКА БЕЗ СВЯЗУЮЩЕГО

Ершова А.С.¹, Змеева А.И.¹, Шраер А.В.¹, Савиновских А.В.¹,
Артёмов А.В.¹, Бурындин В.Г.¹

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический
университет», г. Екатеринбург

Ключевые слова: композит, пресс-сырье, кора сосны, свойства, регрессионный анализ, оптимизация.

Аннотация. В результате выполненной работы методом прессования в лабораторных условиях был получен древесный пластик без связующих веществ на основе древесного опила и коры сосны, оценены его физико-механические свойства. Найдены регрессионные зависимости свойств пресс-сырья от содержания в ней коры сосны и древесного опила. Определено оптимальное содержание коры сосны в композите, позволяющее получать материал с оптимальными физико-механическими свойствами пригодными для использования.

UTILIZATION OF PINE BARK WITH OBTAINING WOOD PLASTIC WITHOUT BINDER

Ershova A.S.¹, Zmeeva A.I.¹, Schreyer A.V.¹, Savinovskih A.V.¹, Artyemov A.V.¹,
Burundin V.G.¹

¹Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg

Key words: composite, press raw materials, pine bark, properties, regression analysis, optimization.

Abstract. As a result of the work performed by pressing in the laboratory was obtained wood plastic without binders based on sawdust and pine bark, evaluated its physical and mechanical properties. The regression dependences of the properties of the press material on the content of pine bark and sawdust in it are found. The optimal content of pine bark in the composite, allowing to obtain a material with optimal physical and mechanical properties suitable for use.

Утилизация древесного отхода, такого как древесная кора, является одной из важнейших проблем в комплексном использовании древесного сырья. Пригодность коры для различных видов производства зависит от таких факторов, как химический состав и физико-механические свойства. Кора хвойных деревьев отличается большим содержанием экстрактивных веществ, целлюлозы, золы и пентозанов. Также кора богата питательными веществами, а за счет пористой структуры быстро накапливает и удерживает влагу [1,2].

Одним из решений данной проблемы – это получение древесно-растительных композиционных материалов – древесных пластиков без добавления связующих веществ (ДП-БС) [3]. Цель данной работы – это разработка рецептуры пресс-сырья для получения древесного

композита без связующего на основе древесного опила и коры сосны с высокими физико-механическими свойствами.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- методом математического планирования эксперимента определить оптимальные соотношения содержания древесной коры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) в пресс-материале для получения ДП-БС;
- анализ физико-механических свойств пластика в зависимости от фракционного состава и процентного содержания древесных отходов;
- поиск рациональных режимов получения древесно-композиционного материала с заданными эксплуатационными свойствами.

С целью исследования физико-механических свойств древесных пластиков без связующего, полученных методом прессования, была составлена матрица планирования эксперимента на основе регрессионного двухфакторного математического планирования полного факторного эксперимента [4].

В качестве независимых факторов были использованы:

- содержание сосновой коры (Z_1, X_1) – от 10 до 30 %;
- фракционный состав пресс-композиции (Z_2, X_2) – от 0,7- 1,4 мм.

За выходные параметры взяты: плотность ($Y(P)$, г/см³), прочность при изгибе ($Y(\Pi)$, Мпа), твердость ($Y(T)$, МПА), водопоглощение ($Y(B)$, %), разбухание ($Y(L)$, %) и ударная вязкость ($Y(A)$, кДж/м²).

На основании составленной матрицы планирования (см. таблица 1) были получены методом плоского горячего прессования образцы-диски в трех параллелях с диаметром 90 мм и толщиной 2 мм. Режимы изготовления образцов: давление прессования – 40 Мпа, температура прессования – 170 °С, время прессования – 10 мин, время охлаждения под давлением – 10 мин, время кондиционирования – 24 ч. Исходная влажность пресс-материала – 12%.

Таблица 1

Матрица эксперимента с натуральными значениями

№ опыта	Кодированное значение факторов		Натуральные значения факторов	
	X_1	X_2	Z_1	Z_2
1	1	1	30	1,4
2	1	-1	30	0,7
3	-1	1	10	1,4
4	-1	-1	10	0,7

У полученных образцов ДП-БС после кондиционирования были определены физико-механические свойства. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

Физико-механические свойства ДП-БС (древесный опил и сосновая кора)

№	Натуральные значения факторов		Физико-механические свойства					
	Z_1	Z_2	$Y(P)$, г/см ³	$Y(\Pi)$, Мпа	$Y(T)$, Мпа	$Y(B)$, %	$Y(L)$, %	$Y(A)$, кДж/м ²
1	30	1,4	1046	13,3	56	110	9,0	0,9
2	30	0,7	1201	18,1	46	41	4,0	1,3
3	10	1,4	1079	12,7	72	141	13,0	0,7
4	10	0,7	1205	18,3	45	50	13,0	1,4

Экспериментальные данные были обработаны с использованием средств ПП “Microsoft Excel” и получены уравнения регрессий для значимых параметров оптимизации, с оценкой их достоверности [5].

Высокие значения достоверности для параметров оптимизации, дают основание для применения системы линейных уравнений для описания изучаемых процессов влияния переменных факторов на параметры оптимизации:

- 1) плотность $Y(P) = 1253,33 - 2,09 \cdot Z_1 \cdot Z_2 + 0,03 \cdot Z_1^2 - 75,517 \cdot Z_2^2$
- 2) прочность при изгибе $Y(\Pi) = 19,96 - 0,001 \cdot Z_1^2 - 4,11 \cdot Z_2^2 + 0,07 \cdot Z_1 \cdot Z_2$
- 3) твердость $Y(T) = 43,2 - 0,99 \cdot Z_1 \cdot Z_2 + 0,02 \cdot Z_1^2 + 20,9 \cdot Z_2^2$
- 4) водопоглощение $Y(B) = 30,85 + 0,04 \cdot Z_1^2 + 78,23 \cdot Z_2^2 - 3,33 \cdot Z_1 \cdot Z_2$
- 5) разбухание $Y(L) = 2,775 - 0,4 \cdot Z_1 \cdot Z_2 + 0,005 \cdot Z_1^2 + 7,7 \cdot Z_2^2$
- 6) ударная вязкость $Y(A) = 1,49 + 0,03 \cdot Z_1 \cdot Z_2 - 0,0007 \cdot Z_1^2 - 70,53 \cdot Z_2^2$

Результаты графического анализа полученных уравнений регрессии для физико-механических свойств образцов ДП-БС представлены на рисунке 1.

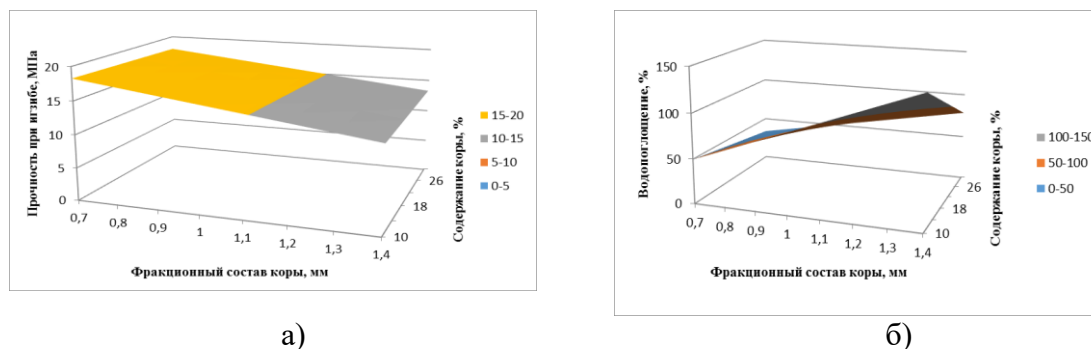


Рисунок 1– Поверхности зависимости физико-механических свойств ДП-БС от фракционного состава и содержания коры: а) прочности при изгибе; б) водопоглощения

При увеличении фракционного состава параметр прочность при изгибе у ДП-БС уменьшается. Так, например, при увеличении фракционного состава прочность при изгибе снижается до 12,7 МПа. При минимальном значении содержания коры (10%) и максимальном значении фракционного состава (1,4 мм) наибольшее водопоглощение составляет 141 %. А при максимальном значении содержания коры (30%) и минимальном значении фракционного состава (0,7 мм) водопоглощение уменьшается до 41%).

С помощью пакета ППП “MicrosoftExcel” «Поиск решения», были найдены рациональные режимы прессования для получения ДП-БС, исходя из условий получения максимального показателя прочности при изгибе и минимальном значении водопоглощения.

Для расчета рациональных значений изучаемых факторов в качестве целевых функций использовали прочность при изгибе и водопоглощение.

Таблица 3

Расчетные и экспериментальные значения
физико-механические свойств ДП-БС при рациональных условиях

Физико-механическое свойство	Рецептура №1 (при максимальной прочности при изгибе)		Рецептура №2 (при минимальном водопоглощении)	
	Расчетные значения	Экспериментальные значения	Расчетные значения	Экспериментальные значения
Модуль упругости при изгибе, Мпа	5419,5	2164,2	2371,1	2114,5
Прочность при изгибе, Мпа	18,54	16,6	12,8	11,2
Твердость, Мпа	72,3	71,24	47,4	47,6
Водопоглощение, %	35,5	62,14	35,5	69,04
Разбухание, %	12,8	9,2	2,6	8,8
Ударная вязкость, кДж/м ²	1,4	1,052	0,8	1,885

В результате получены следующие значения рациональных факторов: содержание коры – 24,5 %; фракционный состав коры – 0,7 мм.

В результате получены следующие значения рациональных факторов: содержание коры – 29,1 %; фракционный состав коры – 0,7 мм.

По результатам оптимизации были получены две различные рецептуры. Для подтверждения полученных теоретических значений, по полученным рецептурам были изготовлены образцы и определены их физико-механические свойства. Результаты испытаний приведены в таблице 3. По результатам выполненной работы можно сделать следующие выводы.

1. С уменьшением размеров фракционного состава исходного пресс-сырья (опила, коры) увеличиваются прочностные показатели готовых изделий ДП-БС. Это объясняется увеличением удельной поверхности частиц древесины и коры, которые участвуют в процессе прессования.

2. С увеличением содержания сосновой коры в исходном пресс-сырье увеличиваются показатели водостойкости готовых материалов. Это может быть связано с тем, что вещества присутствующие в коре древесины придают гидрофобные свойства готовым пластикам.

3. В результате проведенных исследований показано, что возможно получение с приемлемыми физико-механическими свойствами ДП-БС на основе древесных отходов в виде опила с добавлением коры сосновой.

Список литературы

1. Об отходах производства и потребления. Федеральный закон от 24.06.1998 N 89-ФЗ.
2. Кононов, Г.Н. Химия древесины и её основных компонентов: учебное пособие для студентов специальностей 2602.00, 2603.00 / Г.Н. Кононов – М.: МГУЛ, 1999. – 247 с.
3. Артёмов, А. В. Разработка технологии получения изделий экструзией из древесных отходов без добавления синтетических связующих]: автореф. Дис. ... канд. техн. наук (10.05.2010) / Артёмов Артём Вячеславович; УГЛТУ. Екатеринбург, 2010. – 16 с.
4. Ахназарова, С.Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии / С.Л. Ахназарова, В.В. Кафаров. М.: Высшая школа, 1985. – 349 с.
5. Курицкий, Б.Я. Поиск оптимальных решений средствами Excel 7.0 / Б.Я. Курицкий. С-Пб.: BHV – Санкт-Петербург, 1997. – 384 с.

УДК 330.322.212

УПРАВЛЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫМ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ПРОЕКТОМ НА ПРИМЕРЕ МОДЕРНИЗАЦИИ КАРТОНОДЕЛАТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

Нелюбина Т.А.¹, Глезман Е.А.¹

¹Группа предприятий «Пермская целлюлозно-бумажная
компания», г. Пермь

Ключевые слова: Нелинейный, производственный, проект, управление, модернизация, параметры порядка, недетерминированный, SCRUM.

Аннотация. Необходимость кратко сократить сроки реализации нелинейного производственного проекта по модернизации картоноделательной машины вынудила команду проекта отказаться от классической технологии управления проектом и перейти на SCRUM. Стандартный SCRUM не подходил к управлению именно производственным проектом и был модифицирован на основе недетерминированного алгоритма решения дискретных задач и параметров порядка социально-экономической системы. Достигнутый результат – основные параметры проекта улучшены в 2-3 раза по отношению к средним показателям по отрасли.

MANAGEMENT OF NONLINEAR PRODUCTION PROJECT ON THE EXAMPLE OF MODERNIZATION OF THE CARDBOARD MACHINE

Neliubina T.A.¹, Glesman E.A.¹

¹Group of Companies PCBK, Perm

Key words: *nonlinear, production, project, management, modernization, order parameters, non-deterministic, SCRUM.*

Abstract. *The need to multiple shorten the implementation of a nonlinear production project to modernize the cardboard machine forced the project team to abandon the classical technology of project management and move to SCRUM. The standard SCRUM did not approach the management of the production project and was modified on the basis of non-deterministic algorithm of solving discrete problems and order parameters of the socio-economic system. The achieved Result – The main parameters of the project were improved 2-3 times in relation to the average indicators of the industry.*

Высокий и нелинейный темп изменений знаний современного общества, развития техники и технологий ставит перед нами проблему повышения качества управления нелинейными системами (в частности – проектами). Исходя из математического понимания нелинейности, такие системы имеют следующие особенности: непропорциональность между действием и откликом системы; чувствительность отклика системы к малым отклонениям; многовариантность отклика системы на одно и то же действие. Также, современные нелинейные системы часто сопровождаются открытостью и неопределенностью. Открытость выражается в постоянном притоке в систему новой энергии, материи и информации. Неопределенность выражается, в том числе, в принципиальной недостаточности ресурса для выстраивания полного контура управления, прежде всего – информации.

Нелинейность системы в сочетании с ее открытостью является объектом изучения таких научных направлений как «Теория сложности», «Теория нелинейных динамических систем», «Синергетика», «Теория детерминированного хаоса» и т.д.. Мы видим большое внимание научной мысли к управлению такими системами и процессами на макроуровне – это работы Акоффа Р.Л., Глазьева С.Ю., Евстигнеевой Л.П., Евстигнеева Р.Н., Ерохиной Е.А., Занга В.-Б., Капицы С.П., Князевой Е.Н., Кузнецова С., Кузнецова Б.Л., Курдюмова С.П., Кучкарова З.А., Лепского В.Е., Лефевра В.А., Майнцера К., Малинецкого Г.Г., Малышевой Л.А., Мироновой Н.И., Молодчика А.В., Николлиса Г., Романовой О.А., Пригожина И., Сороса Дж., Стенгерс И., Степина В.С., Сухарева М.В., Сухарева О.С., Тверски А., Теслинова А.Г., Хакена Г. и многих других.

Список исследователей поведения нелинейных социально-экономических систем микро-уровня значительно короче. Эта область знаний больше представлена наборами бизнес-практик. Такими как SCRUM, AGILE, KANBAN и т.д.

При подготовке к модернизации картоноделательной машины (далее КДМ) группа предприятий ПЦБК (далее ГП ПЦБК) столкнулась:

- с высокой нелинейностью проекта и низкой результативностью классических инструментов управления проектом;
- с недостаточностью современных бизнес-практик для управления именно нелинейным производственным проектом. Все они рассчитаны либо на поток изделий, либо на ограниченное количество участников, либо на однотипность задач и т.д.. Они не рассчитаны на увязывание множества направлений деятельности (проектирование, механика, энергетика, строительство, технология производства бумаги/картона, логистика, АСУ ТП, промышленная безопасность и техника безопасности, договорная работа, закупки, внешняя и внутренняя логистика, внешнеэкономическая деятельность, учет и 57елю57сс57ложение, уборка и эвакуация, организация пребывания подрядчиков и многое другое...), на количество ключевых участников в диапазоне от 23 до 53 человек;

- с недостаточностью научных исследований в области управления именно нелинейным производственным проектом. Реализуемый нами проект модернизации КДМ оказался мал для применения к нему инструментов управления нелинейными макро-системами.

Команда проекта встала перед необходимостью выбора технологии управления данным производственным проектом при следующих источниках его нелинейности:

- масштаб проекта. Объем инвестиций около 1,3 млрд.руб.. Более 200 фур с оборудованием и материалами из Европы и России. Для изготовления оборудования задействовано 7 площадок в Европе и 10 в России. Интеграция оборудования велась инженерами ГП ПЦБК на площадке ПЦБК. Более 400 сотрудников подрядных организаций на территории предприятия. Монтаж 50 км кабельных линий и 4 км трубопроводов;

- один год на подготовку вместо трех стандартных;
- реализация проекта на существующей производственной площадке (Brownfield проект) со всеми вытекающими ограничениями и присутствие другой работающей машины в одном цехе с модернизируемой КДМ. Мы не нашли аналогов таких условий модернизации КДМ в России;

- самостоятельный инжиниринг от концепции до реализации проекта. Мы были готовы воспользоваться услугами профессиональной компании, как мы всегда и делали. Но не смогли найти приемлемый для нас вариант;

- параллельная реализация на предприятии других проектов (реконструкция здания цеха, модернизация размольно-подготовительного отдела, реконструкция очистных сооружений, замена линий по производству гофроупаковки и т.д.).

Окончательный выбор шел между двумя технологиями управления проектом: «Классическая» и «SCRUM» [1]. Сравнение параметров этих способов управления приведен в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение технологий управления проектами «Классическая» и «SCRUM» относительно требований проекта по модернизации КДМ

Параметр сравнения. Требования проекта по модернизации КДМ	Классическая	SCRUM
Результат проекта. Реализация концепции модернизированной КДМ.	Достижение запланированного результата.	Возможно достижение, как планируемого результата проекта, так и его скорректированной формы.
Срок реализации проекта. Период от начала финансирования до первой продукции – 18 месяцев. Период на подготовку к останову – 12 месяцев.	(в среднем по отрасли) Период от начала финансирования до первой продукции – 41 месяц. Период на подготовку к останову – 36 месяцев.	После периода «настройки» команды, скорость реализации задач проекта возрастает в несколько раз.
Стоимость проекта. 300 евро на тонну дополнительной продукции в год.	(в среднем по отрасли) 500-600 евро на тонну доп. Продукции в год.	<i>Нет информации</i>
Удержание хода проекта. Необходимо было реализовать концепцию КДМ в условиях высокой неопределенности (отсутствие готовой проектной документации, спецификаций на комплектацию и др.).	Детальный график всех работ с выверенной нагрузкой на ключевых специалистов.	Дорожная карта проекта + детализация в задачах ближайшего Спринта (несколько недель, размер спринта определяется командой).
Удержание взаимодействия и координации. Многие этапы проекта пойдут параллельно и требуется высокая информированность и скоординированность действий.	Детальный график + совещания.	SCRUM-доска + прототипы решений + совещания.

Требования к человеческому ресурсу. Узкий круг ключевых специалистов – 23 чел. Вся рабочая группа – 53 человека.	Рабочая группа проекта может достигать сотни человек. Исполнительность, профессионализм.	Макс. Количество членов команды – 12 человек. Профессионализм, способность работать в условиях высокой неопределенности.
---	--	--

В результате формального сравнения данных таблицы 1 было трудно сделать окончательных выбор. На стороне классической технологии управления проектом был параметр «Требования к человеческому ресурсу». На стороне «SCRUM» - срок реализации проекта. Все решила практика. После четырех месяцев применения классической технологии управления проектом было принято решение о переходе на «SCRUM» с ее серьезной модификацией под потребности именно производственного проекта.

Научной основой для модификации стандартной технологии стала «Схема управляющего контура механизма управления инновационной восприимчивостью социально-экономических систем» [2] (рисунок 1.) опирающаяся на недетерминированный алгоритм решения сложных дискретных задач [3] и следующие пять параметров порядка социально-экономической системы [2] (таблица 2.):

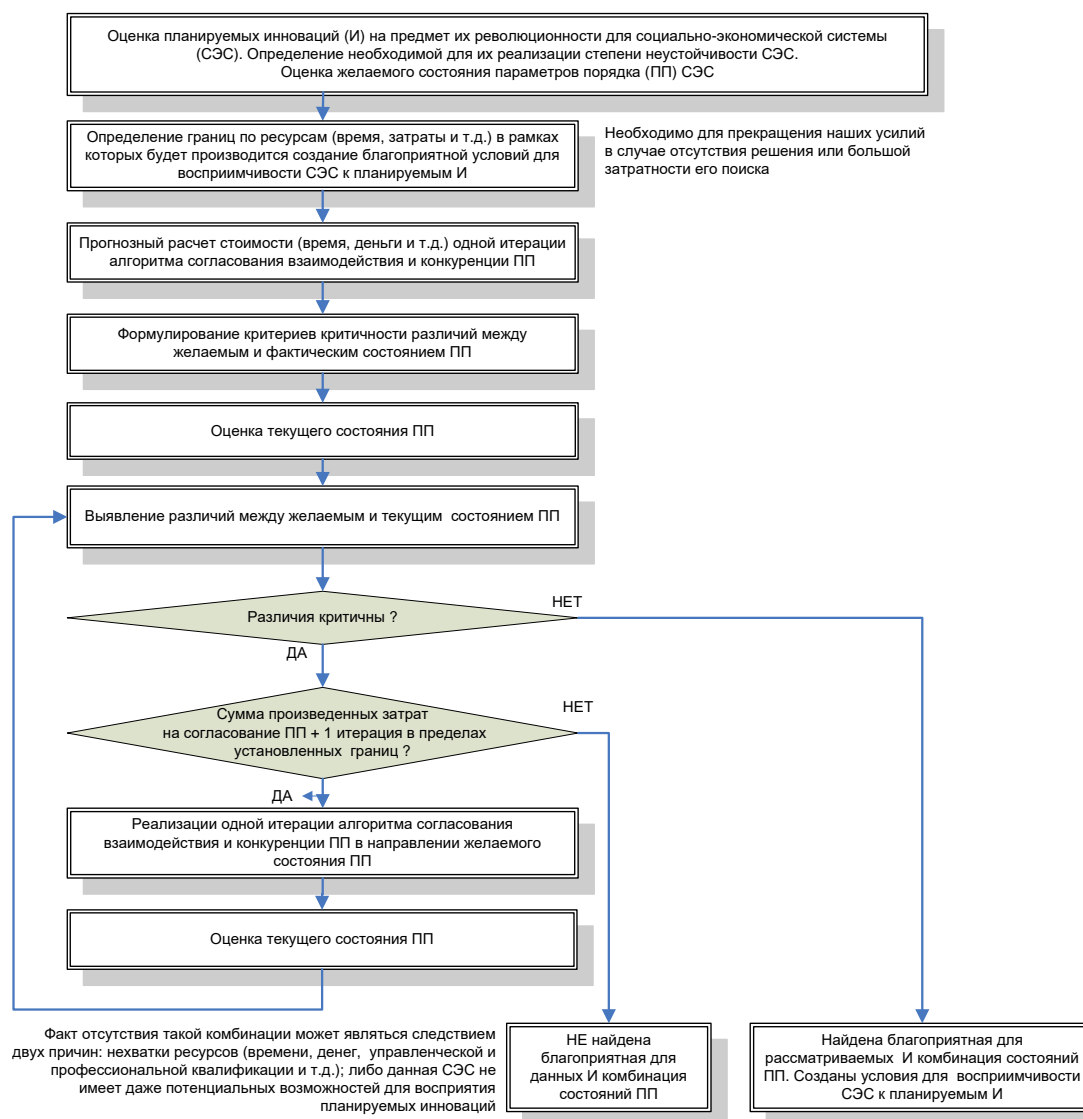


Рисунок 1– Схема управляющего контура механизма управления инновационной восприимчивостью социально-экономических систем

Таблица 2

Параметры порядка социально-экономической системы

№	Параметр порядка	Описание
1.	Уровень кластеризации связей	Отражает структуру взаимных связей между компонентами системы с точки зрения тенденции их распределения: равномерной или кластерной.
2.	Уровень информативности.	Отражает способность компонентов системы генерировать и использовать новую информацию на основе знаний.
3.	Уровень рефлексивности.	Отражает глубину рефлексивных образов у субъектов системы. Отражает представленность и степень взаимопроникновения субъектов системы в рефлексивные образы друг друга.
4.	Уровень разнообразия связей между компонентами	Отражает количество взаимных связей между компонентами системы, их многообразие.
5.	Уровень согласованности ценностей.	Отражает наличие или отсутствие общего направления движения (вектора) у субъектов, наличие направляющей для их самоорганизации в виде перечня согласованных ценностей.

Конкретные шаги по модификации SCRUM и полученный результат представлены в таблице 3.

Таблица 3

Шаги по модификации стандартной SCRUM технологии управления проектом и полученный результат

Стандартный SCRUM	Модификации	Результат от модификаций
Разделы Доски: Задачи Backlog В работе Согласование Сделано	Нет модификаций	
Система совещаний: Планирование спринта Ежедневная оперативка SCRUM – 15 мин (до 12 чел). Подведение итогов спринта Совещание по совершенствованию совещаний SCRUM	Система совещаний: Планирование спринта – формулирование интегральных продуктов Ежедневная оперативка SCRUM – 30 мин. (до 23 ч) Подведение итогов спринта С вопросами в конце каждого совещания «Что у нас сегодня получилось? Что – нет? Что в следующий раз делаем по-другому»	Процедуры SCRUM изменялись постоянно и очень быстро. Повышена синхронизация действий команды
Источники задач: План проекта (Backlog)	Источники задач: Матрица комплектации Интегральные продукты спринта Карта рисков Планы действий и результаты тематических совещаний	Уточнение объема и параметров задач шло непрерывно Массив задач рассматривался с разных ракурсов проекта
Единица измерения объема проекта – условная единица (породы собак, числа Фибоначчи и т.д.)	Единица измерения объема проекта – типовая задача (Принять техническое решение, провести тендер, заключить договор, подготовить документацию и т.д.)	Сохранили возможность прогнозирования результативности будущих спринтов при большом количестве участников

Роли: Хозяин продукта, представляет интересы клиента Участники SCRUM команды SCRUM-мастер	Роли: Хозяин продукта – Хозяин машины (тот, кому потом на этой машине работать) Участники SCRUM-команды SCRUM-мастер Проектная команда «Совет директоров»	Хозяин машины – позволил оп-ределить внутреннего клиента Выделение SCRUM-команды (23 чел) из рабочей группы (53 чел) повысило управляемость Совет директоров – эксперты и «Скорая помощь»
Прототипы: Регулярно идут пробные пуски (прогоны) прототипа целевого продукта проекта	Прототипы: Регулярная подготовка и публикация прототипов решений (приказы, таблицы, чертежи, алгоритмы, схемы и т.д.). У каждого прототипа есть дата, ответственный и период обновления	Высокий уровень синхронизации решений

SCRUM технологию управления проектами мы использовали весь подготовительный период вплоть до останова КДМ на модернизацию. Затраты времени команды проекта на совещания SCRUM и количество выполненных за спринт задач представлены на рисунке 2. На диаграмме видно, что команде удалось реализовать заложенный в SCRUM потенциал при управлении нелинейным производственным проектом – кратный рост скорости решения задач, а значит и скорости реализации проекта. По истечении «разгонного» периода время команды на совещания сократилось в среднем в 2 раза, а количество выполненных за спринт задач выросло (в среднем) в 2,6 раза.



Рисунок 2 – Затраты времени команды проекта на совещания SCRUM и количество выполненных за спринт задач (средняя длительность спринта – 3 недели)

Окончательные результаты проекта по модернизации КДМ (таблица 4) демонстрируют правильность выбора инструмента управления нелинейным производственным проектом. Информация о показателях «В среднем по отрасли» собрана опросным путем именно для такого рода модернизаций.

Таблица 4

Результаты проекта по модернизации КДМ

Показатель	Результат ГП ПЦБК	В среднем по отрасли
Период подготовки к останову КДМ на модернизацию	13 месяцев	36 месяцев
Период от начала финансирования до первой продукции	16,5 месяцев	41 месяц
Период от первой продукции до выхода на проектную суточную производительность	1 месяц	От 6 месяцев
Затраты по модернизации КП-06 на тонну дополнительной продукции в год	Менее 300 евро/тонна	500-600 евро/тонна

Приступая к реализации проекта, мы не ставили перед собой задачу сделать его лучше всех. Амбициозные задачи поставила перед нами сама жизнь, а именно: необходимость уложиться в узкие сроки получения отдачи на инвестиции; климатические ограничения по проведению работ и транспортировке оборудования (часть оборудования была критически чувствительна к минусовым температурам); необычно высокая загруженность узкоспециализированных подрядных организаций в связи с большим количеством модернизируемых в этом году КДМ (8 против обычных двух в год).

Но это не все достигнутые командой проекта результаты. С нами останутся полученные нами опыт и знания. Реализуя по-настоящему сложный нелинейный производственный проект, мы научились: достигать результата в условиях высокой неопределенности; отказываться от межфункциональных барьеров; принимать решения быстро, вместе и брать на себя ответственность. Мы смогли освоить и эффективно реализовать такой контринтуитивный и непривычный способ управления проектами, как SCRUM!

Список литературы

1. Сазерленд Джефф. Scrum. Революционный метод управления проектами. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2016. – 186 с.
2. Нелюбина Т.А., Романова О.А. Управление инновационной восприимчивостью социально-экономических систем. – Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2010. – 257 с.
3. Бондаренко В.А. О сложности дискретных задач. Ярославский государственный университет им. П.Г.Демидова, [Электронный ресурс]. URL: http://www.edu.yar.ru/russian/pedbank/sor_prof/bondarenko/chast2.html (дата обращения 30.06.2009).

УДК 661.728

ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКОВОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ БЕЛЕННОЙ СУЛЬФАТНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Носкова О.А.¹, Сахно Н.В.¹, Некрасова Е. Ю.¹, Бритвина А.О.¹

¹ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь

Ключевые слова: хвойная целлюлоза, лиственная целлюлоза, гидролиз, соляная кислота, порошковая целлюлоза, степень полимеризации

Аннотация. С помощью математического планирования эксперимента разработаны оптимальные условия получения порошковой целлюлозы из беленой хвойной сульфатной целлюлозы, предназначенной для бумажного производства. По разработанным условиям получена порошковая целлюлоза для пищевой промышленности. По аналогичным условиям получен целлюлозный порошок из беленой лиственной сульфатной целлюлозы. Проведен сравнительный анализ свойств и структуры полученных образцов порошковой целлюлозы.

PREPARATION OF POWDER PULP FROM BELATE SULPHATIC PULP

Noskova O.A.¹, Sakhno N.V.¹, Nekrasova E.U.¹, Britvina A.O.¹

¹Perm National Research Polytechnic University, Perm

Key words: softwood pulp, hardwood pulp, hydrolysis, hydrochloric acid, powdered cellulose, degree of polymerization

Abstract. With the help of the experiment planned mathematically, optimal conditions for the production of powdered pulp from bleached softwood sulphate pulp for papermaking were developed. According to the developed conditions powdered cellulose for the food industry was obtained. Under similar conditions, pulp powder from bleached hardwood sulphate pulp was obtained. A

comparative analysis of the properties and structure of the obtained samples of powdered cellulose was carried out.

В последние несколько десятилетий значительное внимание уделяется получению, исследованию свойств и возможностей применения целлюлозы в форме порошка, в том числе микрокристаллической целлюлозы (МКЦ). Интерес к данной проблеме связан с возможностями применения порошковой микрокристаллической целлюлозы в областях, не характерных для традиционной волокнистой целлюлозы. МКЦ является в настоящее время промышленным препаратом и используется во многих отраслях промышленности – пищевой, фармацевтической, медицинской и косметической. Также возможно использование порошковой целлюлозы в качестве добавки при переработке синтетических полимеров и в производстве материалов высокой прочности и термостойкости, при получении производных на ее основе, а также в аналитической химии для колоночной и тонкослойной хроматографии [1]. Ранее на кафедре ТЦБП ПНИПУ были разработаны оптимальные условия получения порошковой целлюлозы из высококачественного традиционного сырья – хлопковой и древесной сульфитной вискозной целлюлозы. Порошковую целлюлозу получали методом кислотного гетерогенного гидролиза. В качестве деструктирующих агентов были использованы водные растворы соляной и азотной кислот.

В настоящее время хлопковая и древесная вискозная сульфитная целлюлоза в нашей стране не производится и являются импортным сырьем. Это вызывает трудность их поставки высокого качества и обуславливает высокую стоимость.

Цель данной работы – исследование возможности использования беленой древесной целлюлозы, предназначенной для производства бумаги, в качестве сырья для получения порошковой целлюлозы. Порошковую целлюлозу предлагается использовать в пищевой, фармацевтической и медицинской промышленности. В данной работе в качестве исходного сырья для получения порошковой целлюлозы были использованы образцы беленой хвойной и лиственной сульфатной целлюлозы, предназначенной для получения бумаги, производства ОАО «Группа «ИЛИМ». Характеристика исходного сырья приведена в таблице 1. Для сравнения в таблице приведены показатели для древесной сульфитной вискозной целлюлозы, используемой нами ранее для получения порошковой целлюлозы.

Поскольку данные образцы целлюлозы предложено использовать для получения порошковой целлюлозы, поэтому в образцах волокнистой целлюлозы были определены показатели, характерные для целлюлозы, предназначенной для химической переработки. К таким показателям относятся массовая доля альфа-целлюлозы, степень полимеризации (СП), степень химической чистоты, т.е. наличие в целлюлозе нецеллюлозных примесей: смол и жиров, золы, лигнина.

Таблица 1

Характеристика образцов волокнистой целлюлозы

Показатели целлюлозы	Хвойная беленая сульфатная бцеллюлоза	Лиственная беленая сульфатная бцеллюлоза	Хвойная сульфитная вискозная целлюлоза
Массовая доля в целлюлозе:			
- альфа-целлюлозы	87,7	86,6	92,0
- смол и жиров	0,83	1,28	0,30
- золы	0,11	0,08	0,12
- лигнина	0,09	0,06	-
СП	750	900	750
Белизна, %	85,5	84,3	88,2

Все образцы волокнистой целлюлозы характеризуются достаточно высоким содержанием альфа-целлюлозы, однако наибольшее значение этого показателя имеет сульфитная вискозная целлюлоза, процесс получения которой включает стадию горячего облагоражи-

вания. Также отличительной особенностью сульфитной вискозной целлюлозы является низкое содержание смол и жиров, высокая белизна по сравнению с сульфатной целлюлозой.

Для лиственной целлюлозы характерно, в отличие от хвойной, более высокое содержание экстрактивных веществ, экстрагируемых органическим растворителем, и высокое значение степени полимеризации.

Все образцы целлюлозы характеризуются невысокой массовой долей золы и лигнина.

Различия в свойствах представленных образцов объясняются разными способами варки, отличиями химического состава и морфологического строения древесного сырья. Порошковую целлюлозу получали методом кислотного гидролиза. В качестве деструктирующих агентов для гидролиза целлюлозы использовали водные растворы соляной кислоты, так как соляная кислота, в отличие от других минеральных кислот, характеризуется высокой каталитической активностью.

С целью получения целлюлозного порошка требуемого качества для пищевой, фармацевтической и медицинской промышленности (степенью полимеризации порошковой целлюлозы не более 250, максимальными выходом и белизной) при рациональных и экономичных режимах была проведена оптимизация условий гидролиза волокнистой целлюлозы с помощью математического планирования эксперимента. Объектом оптимизации выбрана хвойная сульфатная целлюлоза, гидролизующим агентом – водные растворы соляной кислоты. Обработка результатов эксперимента была выполнена с использованием программы STATGRAPHICS, V5.01 [2]. При этом для каждого выходного параметра (степени полимеризации, выхода и белизны порошковой целлюлозы) получены уравнения регрессии. Оптимизация с помощью программы STATGRAPHICS дала следующие оптимальные условия гидролиза сульфатной хвойной целлюлозы: температура 96 °С, продолжительность 110 мин и концентрация соляной кислоты 1,68 н. Была получена порошковая целлюлоза со степенью полимеризации 235, выходом продукта 86,3 % и белизной 81,1 %.

Затем по оптимальным условиям гидролиза хвойной беленой сульфатной целлюлозы был проведен гидролиз лиственной беленой сульфатной целлюлозы для определения возможности использования ее в качестве сырья для получения порошковой целлюлозы.

В процессе гидролиза при действии минеральных кислот на волокна целлюлозы происходит разрушение аморфной части микрофибрилл целлюлозы, что приводит к нарушению волокнистой структуры целлюлозы, уменьшению линейных размеров волокна и образованию порошка. В результате гидролиза целлюлозы образуется смесь продуктов различной молекулярной массы и различных размеров.

Весьма наглядное представление об изменениях линейных размеров волокон в целлюлозе гидролиза дают микрофотографии образцов волокнистой целлюлозы и полученной из нее порошковой целлюлозы. На рисунке 1 (а, б) показаны длинные волокна исходных волокнистых образцов хвойной и лиственной целлюлозы. В процессе гидролиза разрушение целлюлозы происходит по длине волокна. Порошкообразная целлюлоза представляет собой короткие разрушенные волокна целлюлозы (рисунок 1, в, г). Толщина волокон целлюлозы в процессе гидролиза изменяется незначительно. Изменение длины волокна приводит к изменению всех свойств целлюлозы. Исследованы сравнительные свойства порошковой целлюлозы, полученной из сульфатной хвойной и лиственной целлюлозы, а также из сульфитной вискозной целлюлозы. Порошковая целлюлоза из сульфитной вискозной целлюлозы получена по оптимальным условиям, разработанным ранее [3].

В образцах порошковой целлюлозы определяли показатели, регламентируемые ТУ9199-005-12043303-2003 на порошковую целлюлозу для фармацевтической, медицинской и пищевой промышленности – СП, сорбционную способность по йоду, водоудерживающую способность, дополнительно были определены выход порошковой целлюлозы от исходного сырья, насыпная плотность и фракционный состав.

Свойства порошковой целлюлозы, полученной по оптимальным условиям, из различных видов волокнистой целлюлозы, представлены в таблице 2.

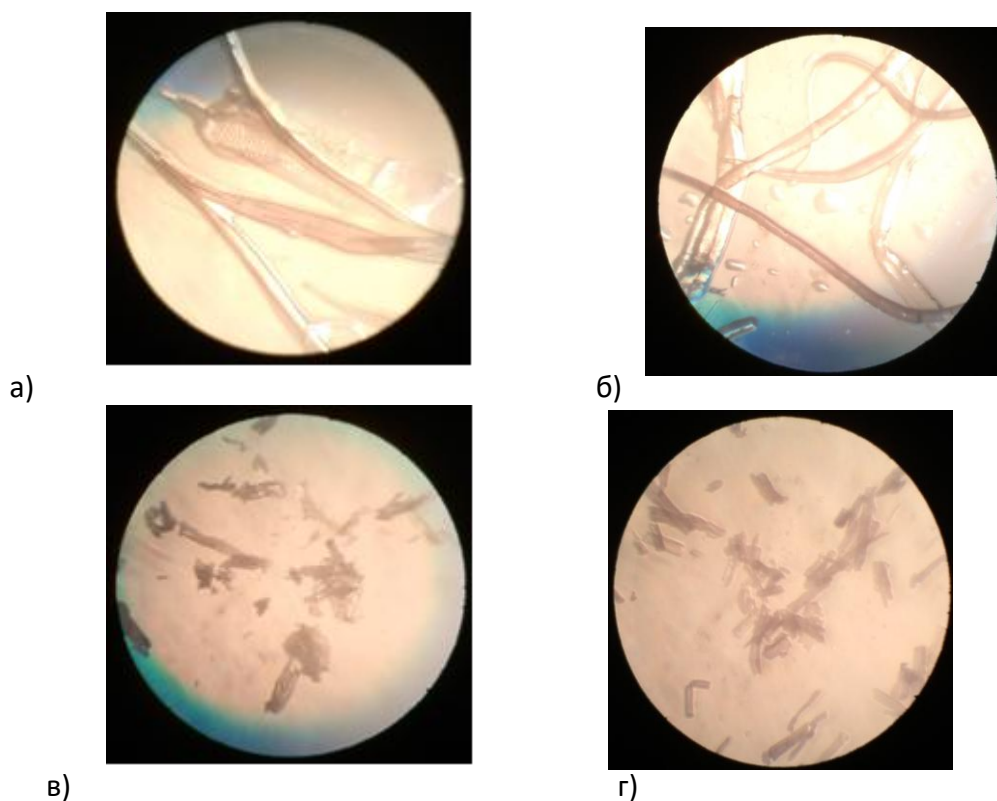


Рисунок 1 – Микрофотографии целлюлозы: а) – волокнистая хвойная беленая сульфатная целлюлоза; б) – волокнистая лиственная беленая сульфатная целлюлоза; в) – порошковая целлюлоза, полученная из сульфатной хвойной целлюлозы; г) – порошковая целлюлоза, полученная из сульфатной лиственной целлюлозы

Сравнительные исследования свойств порошковой целлюлозы показали, что наибольший выход имеет ПЦ, полученная из сульфитной вискозной целлюлозы, что объясняется ее способом получения и химическим составом. Сульфатной хвойная целлюлоза предназначена для бумажного производства и содержит достаточно гемицеллюлоз (в частности пентозанов), которые, разрушаясь при гидролизе совместно с аморфной частью целлюлозы, уменьшают выход ПЦ. Порошок из сульфатной целлюлозы отличается меньшей белизной, высокими значениями сорбционной и водоудерживающей способности, значительным содержанием отходов по сравнению с порошком из сульфитной вискозной целлюлозы. По показателям СП и насыпной плотности целлюлозные порошки практически не различаются.

Таблица 2

Результаты гидролиза хвойной и лиственной сульфатной беленой целлюлозы по оптимальным условиям

Показатели целлюлозы	Порошковая целлюлоза, полученная гидролизом			Нормы ТУ на пищевую целлюлозу
	сульфатной хвойной целлюлозы	сульфатной лиственной целлюлозы	сульфитной вискозной целлюлозы	
Выход, %	86,3	86,9	94,0	-
СП	235	245	240	не более 300
Белизна, %	81,1	80,5	87,4	белый цвет
Сорбционная способность по йоду, мг I ₂ /г целлюлозы	29,1	36,3	17,2	не менее 10
Водоудерживающая способность, %	75,2	83,0	60,1	не менее 30
Насыпная плотность, г/м ³	235	210	220	-

Фракционный состав, %:				
- отсортированная фракция;	91,2	87,5	98,8	-
- отходы	8,8	12,5	1,2	
Примечание: отсортированная фракция – частицы с размером менее 315 мкм, прошедшие через шелковое сито №32; отходы – частицы с размером более 315 мкм, остаток на сите №32.				

Изучение сорбционно-десорбционных процессов образцов порошковой целлюлозы с использованием азота показало, что наблюдается явление гистерезиса, т.е. несоответствие кривых адсорбции и десорбции (рисунок 2). На основании изотерм сорбции N_2 определены параметры капиллярно-пористой структуры образцов порошковой целлюлозы (таблица 3).

Из данных таблицы 3 видно, что ширина мезопор у хвойной порошковой целлюлозы меньше, чем у лиственной, что также подтверждается шириной гистерезиса (рисунок 2) – она более узкая для порошка из хвойной целлюлозы. По значениям ширины мезопор можно судить, что порошок имеет щелевидные поры. Микропоры в порошковой целлюлозе практически отсутствуют. Пересечение кривых адсорбции и десорбции свидетельствует о кристаллической структуре целлюлозного порошка.

Изучение структуры целлюлозного порошка методом рентгеноструктурного анализа показало, что порошковая целлюлоза обладает высокой степенью кристалличности. На рентгенограммах образцов порошковой целлюлозы показаны кривые интенсивности рентгеновского рассеяния (рисунок 3), а в таблице 4 - характеристика структуры порошковой целлюлозы.

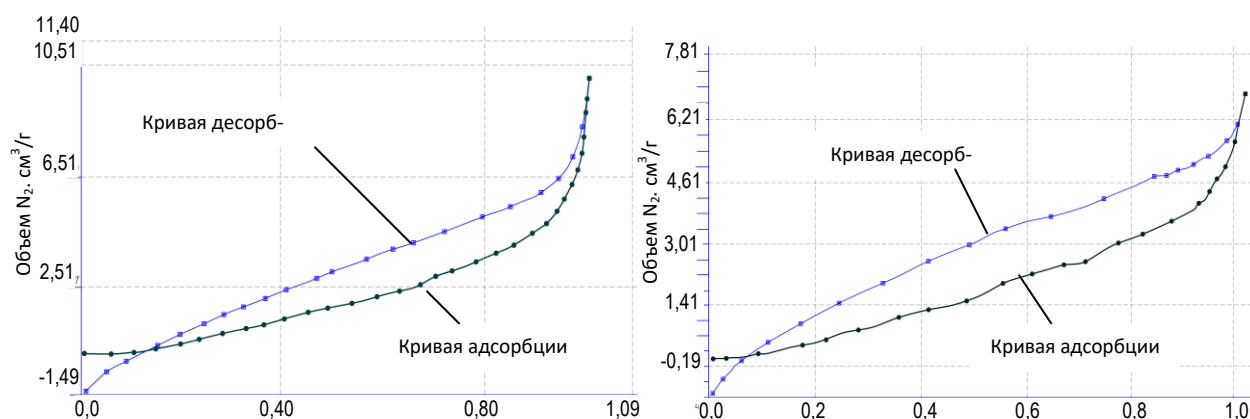


Рисунок 2 – Изотермы адсорбции-десорбции азота для образцов порошковой целлюлозы, полученных из: а) – хвойной беленой сульфатной целлюлозы; б) – лиственной беленой сульфатной целлюлозы

Таблица 3

Параметры	Порошковая целлюлоза, полученная из	
	сульфатной хвойной целлюлозы	сульфатной лиственной целлюлозы
Удельная поверхность, m^2/g	4,62	4,03
Суммарный объем пор, m^3/g	0,0161	0,0100
Суммарная площадь мезопор, m^2/g	5,65	4,39
Суммарный объем мезопор, m^3/g	0,0150	0,0093
Ширина мезопор, Å	19,87	25,57
Суммарная площадь микропор, m^2/g	0,837	1,453
Суммарный объем микропор, m^3/g	0,0003	0,0005

Оценка данных рентгеноструктурного анализа показала, что различий в надмолекулярной структуре образцов ПЦ не наблюдается, однако степень кристалличности несколько выше для целлюлозного порошка, полученного из хвойной целлюлозы, чем из лиственного сырья.

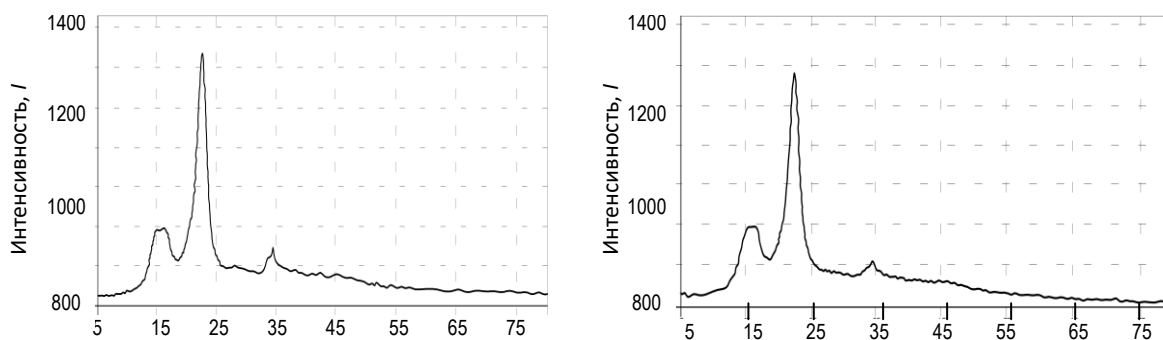


Рисунок 3 - Рентгенограммы образцов порошковой целлюлозы, полученных из: а) – хвойной беленой сульфатной целлюлозы; б) – лиственной беленой сульфатной целлюлозы

Таблица 4

Характеристика структуры порошковой целлюлозы

Порошковая целлюлоза, полученная из	СП	Степень кристалличности	Средний размер кристаллитов, Å
- хвойной целлюлозы	235	0,824	50,32
- лиственной целлюлозы	245	0,804	49,09

Таким образом, помощью математического планирования эксперимента разработан оптимальный режим гидролиза беленой сульфатной хвойной целлюлозы соляной кислотой с получением порошкообразной целлюлозы со степенью полимеризации не более 250, при максимальных выходе и белизне продукта. Образцы порошковой целлюлозы, полученные из сульфатной хвойной и лиственной целлюлозы по оптимальным условиям гидролиза хвойной целлюлозы, не уступают по качеству порошку из волокнистого сырья, применяемого для химической переработки. Показана возможность получения порошковой целлюлозы для пищевой, фармацевтической и медицинской промышленности из более доступного и дешевого сырья по сравнению с сульфитной вискозной целлюлозой.

Список литературы

1. Аутлов С.А., Базарнова Н.Г., Кушнир Е.Ю. Микрористаллическая целлюлоза: структура, свойства и области применения//Химия растительного сырья.–2013,№3.- С. 33-41.
2. Пен Р.З. Планирование эксперимента в Statgraphics. – Красноярск: СибГТУ-Кларетианум, 2003. – 246 с.
3. Хакимова Ф.Х., Ковтун Т.Н., Носкова О.А. Получение целлюлозного порошка из хлопковой и древесной целлюлозы//ИВУЗ «Лесной журнал». - 2001, №5-6. - С.113-118.

УДК 502.34

РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ ЭКО-ПРОГРАММЫ «ЗЕЛЕНый ПОЛИТЕХ» В ПЕРМСКОМ НАЦИОНАЛЬНОМ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

Панькова Е.И.¹, Слюсарь Н.Н.¹

¹ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь

Ключевые слова: эко-программа, вуз, переработка, макулатура, зеленый кампус.

Аннотация. Представлены результаты внедрения экологической программы «Зеленый Политех», реализуемой активистами Пермского национального исследовательского поли-

технического университета (ПНИПУ). Проанализированы данные о сборе макулатуры в рамках акций эко-программы по раздельному сбору отходов (РСО) ПНИПУ, определены преимущества и недостатки реализации.

THE RESULTS OF THE IMPLEMENTATION OF THE ECO-PROGRAM "GREEN POLYTECHNIC" IN THE PERM NATIONAL RESEARCH POLYTECHNIC UNIVERSITY

Pankova E. I., Slyusar N.N.

Perm National Research Polytechnic University, Perm

Key words: eco-program, high school, PNRPU, recycling, waste paper, green campus.

Abstract. The results of the implementation of the eco-program "Green Polytechnic", implemented by activists of the Perm National Research Polytechnic University (PNRPU) are presented. The data on the collection of waste paper in the framework of the actions of the eco-program for the separate waste collection at PNRPU are analyzed, the advantages and disadvantages of implementation are identified.

В последнее время становятся популярны экологические программы и проекты в вузах России. Экологическое образование в высшей школе позволяет оценить все риски и негативное воздействие выбранной профессии на окружающую среду, повышает образовательный уровень студента, прививает этические представления о взаимодействии с окружающей средой [1]. Экологическая программа Пермского национального исследовательского политехнического университета «Зеленый Политех» является добровольным самоуправляемым объединением студентов и сотрудников ПНИПУ, основной целью которой является формирование экологической культуры у студентов и сотрудников ПНИПУ, улучшение экологической ситуации путем осуществления экологической пропаганды, просветительской и социально-значимой практической деятельности. Основными направлениями работы программы являются: сокращение объемов захоронения отходов за счет реализации системы раздельного сбора отходов (РСО) в университете, разработка мероприятий по повышению энергосбережения в учебных корпусах ПНИПУ, экологическое образование и просвещение студентов и сотрудников университета, оптимизация и сокращение водопотребления, развитие экологичного транспорта и инфраструктуры на территории Комплекса ПНИПУ, просвещение студентов и преподавателей о концепции «ответственного потребления».

Программа включает в себя целый ряд "зеленых" проектов: ежемесячные акции по раздельному сбору отходов в ПНИПУ, экологические мероприятия ПНИПУ, ежегодный субботник "Зеленый Кампус", лекции по экологическому образованию и воспитанию, экскурсии по экологическим местам ПНИПУ: "Экотропа Комплекса ПНИПУ", Умный дом ПНИПУ "iHouse", Лабораторный комплекс глубокой оптико-механической сортировки отходов. Активисты программы также активно принимают участие в квестах и мероприятиях, проводимые Ассоциацией «Зеленые вузы России». Благодаря экологическим инициативам, Пермский национальный исследовательский политехнический университет в международном рейтинге вузов UI GreenMetric занимает 6 место по России и 240 в мире (данные рейтинга за 2018 год). В 2012 году в результате активной работы эко-программы и сотрудников кафедры «Охрана окружающей среды ПНИПУ» распоряжением ректора №199-Р «О внедрении раздельного сбора отходов в ПНИПУ» был внедрен РСО. В 2014 году на территории университета появились первые оранжевые контейнеры для общего сбора отходов, пригодных к переработке, также установлены сетчатые контейнеры для пластика. В 2015 году внедрена система внутрикорпусного сбора макулатуры и отработанных батареек. С 2016 года акции по сбору макулатуры и батареек стали ежемесячными. В конце 2018 года «Зеленый Политех» подключился к всероссийской акции «Recycle It», проводимой Ассоциацией «Зеленых вузов России» и к уже традиционному добавился сбор различных фракций пластика, стекла, железной и алюминиевой банок. Данный формат проведения ежемесячных акций по раздельному сбору внедрен и реализуется в настоящее время.

За время реализации РСО в ПНИПУ было отправлено на переработку: пластик - 1627,3 кг, макулатура - 30114,2 кг, батарейки - 519,9 кг, алюминиевые и железные банки - 18 кг, стекло - 25 кг. Характерно, что ежегодные данные не постоянны и различаются, но в целом виден рост общей массы собираемых фракций отходов. Наибольшая доля, более 90%, из собираемого вторичного сырья в ВУЗе приходится на макулатуру. При пересчете всей макулатуры собранной за четыре года благодаря РСО каждый студент и сотрудник ПНИПУ принял участие в программе и сдал на переработку 2 кг макулатуры.

В соответствии с классификацией макулатуру разделяют на три основных группы: группа А - высокого качества, группа Б - среднего качества, группа В - низкого качества, которые содержат в себе 13 марок. Для ВУЗа характерно накопление большого количества белой офисной бумаги после печати и копирования. При этом присутствуют единичные объемные списание архивов методических материалов и книг. Также есть небольшое количество тетрадей, брошюр, газет и гофрированного картона. Макулатура, собираемая в ПНИПУ, соответствует среднему качеству (группа Б, марка МС-7Б).

За четыре года сбора макулатуры в ПНИПУ можно выделить основные преимущества и недостатки реализации данного проекта. Во-первых, стоит отметить, что при этапе согласования и внедрения РСО в ВУЗе возникли сложности с установкой стационарных контейнеров внутри корпусов в связи с правилами пожарной безопасности. Данный вопрос решался отдельно с каждым комендантом корпуса и изначально контейнеры для сбора макулатуры были установлены в холлах нескольких учебных корпусов. Параллельно с этим проходили однодневные акции РСО и просветительские эко-мероприятия. Вслед за этим количество данных контейнеров начало стремительно расти. На данный момент для сбора макулатуры установлены картонные контейнеры компании «Буматика» в холлах учебных корпусов, лекционных аудиториях, деканатах, преподавательских, структурных подразделениях вуза и холлах студенческих общежитий ПНИПУ. На территории комплекса установлено около 50 контейнеров, в главном корпусе ПНИПУ – 35, в общежитиях ПНИПУ – 16.

Во-вторых, при больших объемах сложно отследить качество собираемой макулатуры. Студенты и сотрудники ПНИПУ осведомлены о правилах сдачи макулатуры, но при этом много сырья содержит неубранных скрепок, скоб, пружин и файлов. В главном корпусе данная проблема решается волонтерами, которые во время проведения акции РСО производят сортировку вручную.

В-третьих, установка большого количества контейнеров усложнила процесс вывоза макулатуры. Многие контейнеры установлены в аудиториях, которые в течение дня могут быть закрыты или доступ ограничен, что вызывает затруднение у экспедиторов. Данный вопрос решается путем привлечения сил волонтеров (перенос из отдаленных аудиторий к пункту вывоза) в главном корпусе и сопровождение экспедитора компании «Буматика» координатором эко-программы «Зеленый Политех».

Суммируя вышеизложенное, можно сказать, что эко-программой «Зеленый Политех» в ПНИПУ проделана колоссальная работа по формированию экологического мировоззрения студентов, преподавателей, сотрудников вуза и города Перми в целом. Полученные результаты — важнейшая основа формирования экологической политики, включая цели улучшения экологических показателей, социальной ответственности, экологической культуры ВУЗа.

Список литературы

1. Семькин В. А., Стифеев А. И., Соболева О. В., Лебедчук П. В. Проблемы и перспективы формирования экологической культуры в системе непрерывного образования // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. №8.

УДК 676. 017.2

ИЗМЕРЕНИЕ ОБЛАЧНОСТИ ПРОСВЕТА БУМАГИ

Пен Р.З.¹, Каретникова Н.В.¹, Чендылова Л.В.¹¹ФГБОУ ВО Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск

Ключевые слова: просвет бумаги, облачность бумаги, сканирование бумаги, однородность бумаги, сорбфил.

Аннотация. Предложен способ оценки однородности просвета бумаги. Бумажный лист фотографируют в проходящем свете, изображение вводят в компьютер. На изображении выделяют треки, их сканируют и анализируют. Использована программа Sorbfil, предназначенная для анализа тонкослойных хроматограмм.

MEASUREMENT OF THE PAPER CLOUDINESS

Pen R.Z.¹, Karetnikova N.V.¹, Chendylova L.V.¹¹Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk

Key words: bright spot of the paper, cloudiness of the paper, scan of the paper, homogeneity of the paper, sorbfil.

Abstract. Method of the paper cloudiness estimation was offered. Paper sheet is photographed in the passing light and then the picture carried in to computer. On the picture select the tracks, their scan and analyze. Sorbfil program, meant for analysis, was used of thin-layer chromatographs.

Просвет бумаги характеризует степень однородности её структуры. Визуально неоднородность структуры проявляется в виде «облачности» - наличием светлых и темных пятен при рассмотрении в проходящем свете. Неоднородная бумага имеет повышенную склонность к короблению, худшие прочностные и печатные свойства [1]. Для количественной оценки неоднородности используют гравиметрический и оптический методы [2,3].

Первый из названных способов основан на взвешивании небольших (площадью около 1 см²) образцов бумаги с последующим вычислением среднеквадратичного отклонения – чем больше эта величина, тем выше степень неоднородности структуры. Этот способ трудоемкий, для получения надежной оценки требуется выборка большого объема.

Второй способ основан на сканировании бумаги в проходящем [3] или отраженном [2] свете и анализе распределения оптических плотностей в листе. Судя по публикациям, этот более информативный способ не нашел широкого применения в России, вероятно, из-за отсутствия отечественных серийных приборов для его реализации. На практике характер просвета определяют визуально. Например, ГОСТ 2635-77 предписывал такой способ оценки однородности бумаги-основы фотобумаги: «Просвет бумаги определяется по образцам, утвержденным в установленном порядке. Требования по показателю устанавливаются соглашением между потребителем и изготовителем». Позднее в стандартах на некоторые виды бумаги (например, ГОСТ 9094-89 Бумага для печати офсетная) появилась норма «просвет бумаги должен быть равномерным».

Нами апробирована и использована разновидность оптического метода количественной оценки однородности просвета, основанная на компьютерном сканировании и математической обработке фотографий образцов бумаги в проходящем свете.

Для фотографирования бумаги (или бумажных отливок) в проходящем свете изготовили устройство, состоящее из плоского светодиодного светильника Led Panel, Shining T020-A-366060-B (мощность 40 W, световой поток 4350 люменов, цветовая температура 4000 K) и картонного экрана с отверстием для размещения анализируемого образца.

Для определения характеристик просвета бумажных отливок по их фотографиям использована компьютерная программа денситометрии Sorbfil (ЗАО «Сорбполимер», г. Крас-

нодар) [4], предназначенная для анализа тонкослойных хроматограмм. Программа производит расчет видеоизображения выделенного участка просвета бумаги в виде узкой полосы (трека) с построением аналоговой кривой отклонения яркости (оптической плотности) пятен в треке от яркости фона и с последующим нахождением пиков на этой кривой и расчетом их площади. При количественном расчете трека исходят из положения, что размер пятна (площадь пика) и его оптическая плотность (высота пика) есть функция количества вещества в пятне. Пример результата измерений и вычислений при анализе одного из образцов бумаги приведен на рисунке 1. Фоном рисунка является фотография просвета бумаги; вертикальная полоска в левой части (с номером 1) – трек, выделенный для анализа; график в правой части – денситограмма трека; в центре – таблица с результатами вычислений. Для целей исследования представляет интерес последняя строка «Сумма» в столбцах S (площадь пиков) и H (высота пиков).

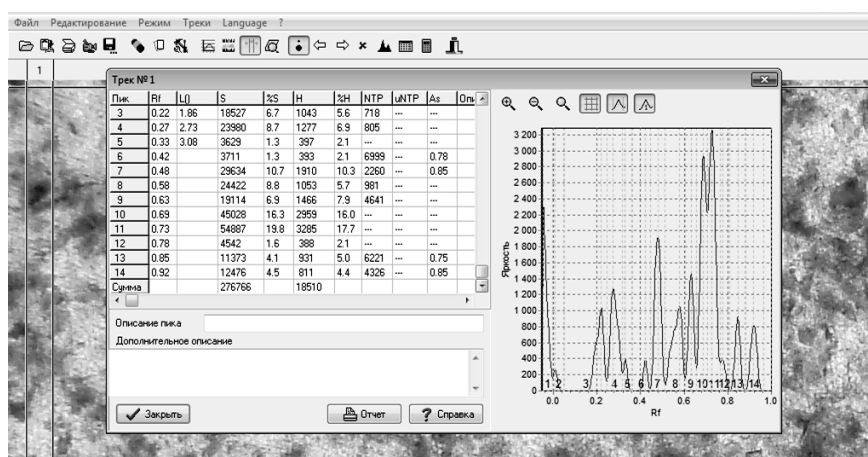


Рисунок 1 – Экран программы Sorbfil с результатами денситометрии бумажного листа

В ходе статистической обработки результатов измерений установлено, что между характеристиками S и H существует линейная связь с высоким коэффициентом корреляции, равном 0,957. По этой причине в исследованиях при оценке однородности просвета бумаги использовали только сумму площадей пиков S (условные единицы).

В качестве примера приведены результаты изучения специально отобранных лабораторных отливок с разной степенью однородности просвета, изготовленных из пяти видов волокнистой массы (рисунок 2). Для измерений использованы по три или четыре отливки из волокнистой массы каждого вида. На каждой отливке просканированы от двух до пяти случайно выбранных трека. Результаты наблюдений приведены в таблице.

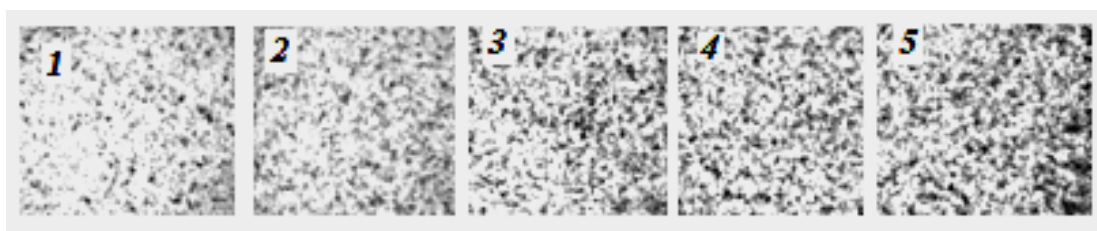


Рисунок 2 – Фотографии образцов бумажных отливок в проходящем свете

Статистический анализ результатов измерений выполнен с использованием пакета прикладных программ Statgraphics Centurion XVI [5]. Сводка результатов анализа приведена в таблице. Наглядное представление о результатах анализа дает рисунок 3. Сравниваемые образцы могут быть объединены по степени однородности просвета в две однородные группы. Одну группу образуют образцы 1 и 2, другую – образцы 4 и 5. Образец 3 занял промежуточное положение между этими группами. Внутри групп различия в облачности незначимы, тогда как разница между группами статистически значима (при доверительной вероятности 95 %).

Статистические характеристики результатов измерений

Номер образца	Объем выборки	Среднее $S \times 10^{-3}$	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %
1	20	193,0	75,3	39,0
2	16	174,5	56,9	32,6
3	14	276,1	95,5	34,6
4	14	343,1	68,4	19,9
5	12	328,5	105,3	32,1

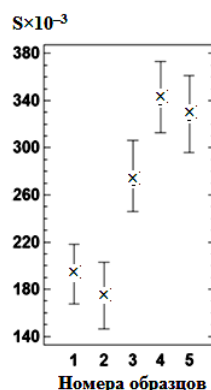


Рисунок 3 – Средние значения и 95-процентные доверительные интервалы облачности просвета отливок

Ранжирование образцов бумажных отливок по степени однородности просвета на основании результатов денситметрического сканирования не противоречит визуальному сравнению фотографических изображений «облачности». Программный продукт Sorbfil или программы аналогичного назначения могут быть рекомендованы для использования в исследовательских целях.

Список литературы

1. Фляте Д. М. Свойства бумаги. Изд. 5, стереотипное. – М., 2012. – 381 с.
2. Малахова Ю. Г., Левшина В. В., Бывшев А. В. Влияние технологических факторов на просвет бумаги // Химия растительного сырья. – 1999. – № 2. – С. 149-153.
3. Исследование коэффициента вариации и среднего размера неоднородности для различных типов бумаги на анализаторе просвета АП-2 / С. М. Герасюта, А. С. Смолин, Е. И. Иванова, В. С. Каневская // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2016. – Вып. 217. – С. 237-247.
4. Денситометр Сорбфил, версия 1.8. Руководство пользователя. – Краснодар, ЗАО Сорбполимер, 2006. – 18 с.
5. Пен Р.З. Планирование эксперимента в Statgraphics Centurion. – Красноярск, 2014. 293с

УДК 621.822

СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД НОРМИРОВАНИЯ ВИБРАЦИИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ СУШИЛЬНЫХ ЦИЛИНДРОВ БМ

Насырова К.С.¹, Санников А.А.¹, Васильев В.В.¹

¹*ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»*

Ключевые слова: бумагоделательная машина, сушильные цилиндры, подшипники качения, нормирование вибрации.

Аннотация. Приведена методика нормирования вибрации подшипников качения на примере сушильных цилиндров БМ №15 «Монди СЛПК».

THE STATISTICAL METHOD OF RATIONING OF VIBRATION ROLLING BEARINGS OF DRYING CYLINDERS PM

Nasyrova K.S.¹, Sannikov A.A.¹, Vasiliev V.V.¹

¹Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg

Key words: paper machine, drying cylinders, rolling bearings, vibration regulation.

Abstract. A method of rationing of vibration rolling bearings, for example, drying cylinders PM № 15 "Mondi".

Общеизвестно [1], что вибрация является интегральным показателем технического состояния оборудования. Так, важным этапом вибрационного диагностирования является выявление количественных параметров вибрации и сопоставление их с нормативными допустимыми значениями. В соответствии с ГОСТ 26563-85 [2] нормируемый параметр вибрации – виброскорость, приведенный в октавных полосах частот для всех узлов оборудования ЦБП.

Основными виброактивными узлами бумагоделательных машин (далее - БМ) являются валы и цилиндры, вращающиеся в подшипниках качения. Все дефекты и отклонения валов и цилиндров диагностируются по параметрам вибрации подшипников качения. Поэтому диагностика БМ – это, прежде всего, диагностика подшипников.

В связи с длительной эксплуатацией БМ нормативные диагностические параметры вибрации необходимо уточнять, для конкретных БМ они могут быть различны. Так, допустимый параметр виброскорости определяется по формуле:

$$[V_e] = \left(\sum_{i=1}^n V_{ei} \right) / n + k \sqrt{\frac{\sum V_{ei}^2}{n}}, \quad (1)$$

где n – число агрегатов; V_e – среднеквадратическое отклонение вибрации; k – коэффициент повышения надежности, $k = 1,5$, так как дефекты подшипников в БМ приводят к остановке производства полностью.

Если измеренный параметр вибрации $V_e \leq [V_e]$, есть уверенность, что узел исправен, если $V_e > [V_e]$, необходим осмотр и подконтрольная эксплуатация узла.

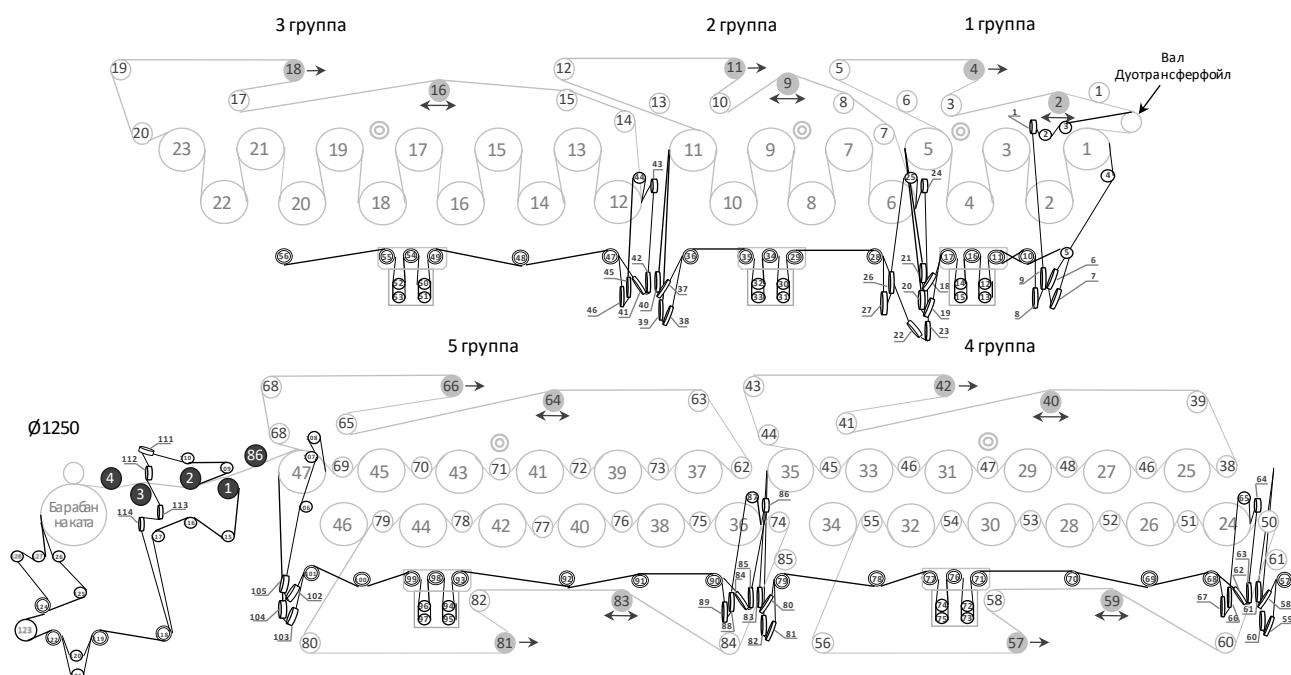


Рисунок 1– Схема сушильной части БМ-15

Статистический метод нормирования вибрации подшипников качения рассмотрим на примере цилиндров сушильной части БМ №15 АО «Монди СЛПК» (рисунок 1). Для точности расчетов необходимое количество агрегатов должно быть не менее 10.

Для проведения расчетов были взяты усредненные значения виброскорости подшипников качения сушильных цилиндров лицевой стороны машины (таблица 1). Все цилиндры были разделены на две части: верхнего и нижнего рядов, в связи с разными условиями работы. Чётные валы отнесли к нижнему ряду, нечётные – к верхнему ряду.

Таблица 1– Усредненные значения виброскорости подшипников сушильных цилиндров

Номер вала (верхний ряд)	Виброскорость, мм/сек	Номер вала (нижний ряд)	Виброскорость, мм/сек
1	1,16	2	2,85
3	1,2	4	1,15
5	0,81	6	0,44
7	1,47	8	0,44
9	1,25	10	1
11	1,2	12	0,35
13	0,88	14	0,36
15	0,98	16	0,56
17	2,12	18	0,55
19	2,52	20	0,46
21	1,1	22	1
23	2,34	24	0,6
25	4,9	26	0,44
27	2,5	28	0,41
29	1,26	30	0,26
31	1,15	32	0,39
33	1,16	34	0,26
35	1,95	36	0,52
37	1,73	38	0,24
39	1,2	40	0,37
41	1,42	42	0,61
43	2,62	44	0,74
45	1,73	46	0,27
47	1,6		

Исключим из расчетов данные по валам 2 и 25, так как они очевидно больше остальных значений виброскорости.

Для верхнего ряда вала допускаемое значение виброскорости будет равно:

$$[V_e] = 34,5 / 23 + 1,5 \sqrt{\frac{60,97}{23}} = 4 \text{ мм/с}, \text{ где } n = 23;$$

$$\sum_{i=1}^n V_e = 1,16 + 1,2 + 0,81 + 1,47 + 1,25 + 1,2 + 0,88 + 0,98 + 2,12 + 2,52 + 1,1 + 2,34 + 2,5 + 1,26 + 1,15 + 1,16 + 1,95 + 1,73 + 1,2 + 1,42 + 2,62 + 1,73 + 1,6 = 34,5 \text{ мм/с}$$

$$\sum V_{ei}^2 = 1,34 + 1,44 + 0,65 + 2,16 + 1,56 + 1,44 + 0,77 + 0,96 + 4,49 + 6,35 + 1,21 + 5,47 + 6,25 + 1,58 + 1,32 + 1,34 + 3,8 + 2,99 + 1,44 + 2 + 6,86 + 2,99 + 2,56 = 60,97 \text{ мм/с}$$

Для нижнего ряда вала допускаемое значение виброскорости будет равно:

$$[V_e] = 11,42 / 22 + 1,5 \sqrt{\frac{7,26}{22}} = 1,4 \text{ мм/с}, \text{ где } n = 22;$$

$$\sum_{i=1}^n V_e = 1,15 + 0,44 + 0,44 + 1 + 0,35 + 0,36 + 0,56 + 0,55 + 0,46 + 1 + 0,6 + 0,44 + 0,41 + \\ + 0,26 + 0,39 + 0,26 + 0,52 + 0,24 + 0,37 + 0,61 + 0,74 + 0,27 = 11,42 \text{ мм/с}$$

$$\sum V_{ei}^2 = 1,32 + 0,19 + 0,19 + 1 + 0,12 + 0,13 + 0,31 + 0,3 + 0,21 + 1 + 0,36 + 0,19 + 0,1 + \\ + 0,07 + 0,27 + 0,06 + 0,14 + 0,37 + 0,54 + 0,07 = 7,26 \text{ мм/с}$$

Приведенные расчеты представляют виброскорость в качестве нормативного значения для подшипников верхнего ряда сушильных цилиндров равной 4 мм/с, для подшипников нижнего ряда цилиндров - равной 1,4 мм/с. В подшипниках цилиндров 2 и 25 повышенная вибрация и необходимо принять меры для ее устранения.

Список литературы

1. Вибродиагностика, триботехника, вибрация и шум: монографический сб./ Под ред. А.А. Санникова, Н.В. Куцубиной. – Екатеринбург: Уральск. гос. лесотехн. ун-т, 2009. – 416 с.
2. ГОСТ 26493-85. Вибрация. Технологическое оборудование целлюлозно-бумажного производства. Нормы вибрации. Технические требования. – Введ. 1986.07.01. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 8 с.

УДК 676.056.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В СУШИЛЬНЫХ ЦИЛИНДРАХ ПРИ ТЕМПЕРАТУРНОМ ДИАГНОСТИРОВАНИИ

Радинская К. П.¹, Сиваков В.П.¹, Куцубина Н.В.¹
¹ФГБОУ ВО Уральский государственный лесотехнический
университет, г. Екатеринбург

Ключевые слова: сушильный цилиндр, конденсат, теплопередача, торцевые крышки, допустимая температура, теплоизоляция.

Аннотация. В данной работе экспериментально и теоретически исследованы тепловые потери через торцевые крышки и от повышенного содержания конденсата в сушильном цилиндре. Рассмотрена экономия греющего пара при теплоизоляции торцевых крышек.

DETERMINATION OF HEAT LOSS IN THE DRYING CYLINDERS AT TEMPERATURE DIAGNOSTICS

Radinskaya K.P.¹, Sivakov V.P.¹, Kutsubina N.V.¹
¹Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg

Key words: drying cylinder, condensate, heat transfer, end caps, permissible temperature, thermal insulation.

Abstract. In this work, the heat losses through the end caps and from the increased content of condensate in the drying cylinder are studied experimentally and theoretically. The saving of heating steam with thermal insulation of end caps is considered.

Сушильные цилиндры (СЦ) предназначены для контактной сушки полотна бумаги. Контактная сушка полотна происходит только по части боковой поверхности СЦ охватываемой бумагой. Часть боковой поверхности СЦ, не контактируемая с полотном бумаги, а также поверхность торцевых крышек соприкасается с воздухом и не рационально использует тепловую энергию. Тепло отведённое от торцевых крышек можно рассматривать как тепловые потери. Отметим, что в литературных источниках по тепловым процессам в ЦБП [1,2] поверхность торцевых крышек, при определении поверхности СЦ соприкасающейся с воздухом

хом, не учитывают в предположении, что они будут защищены теплоизоляцией. Но СЦ бумагоделательных машин РФ за редким исключением, не имеют теплоизоляцию торцевых крышек. Пароконденсатная система СЦ большинства бумагоделательных машин имеет групповую систему теплоснабжения. Дроссельные шайбы, выпускающие из СЦ конденсат и пролетный пар, имеют нерегулируемый условный подход. При изменении теплового и гидравлического режимов пароконденсатной системы дроссельные шайбы не обеспечивают пропорционально подачу пара и удаление конденсата в отдельных СЦ, что приводит к накоплению конденсата и к снижению теплоотдачи от греющего пара к стенке СЦ.

Измерение температуры торцевых крышек СЦ производили при установившейся рабочей скорости машины с лицевой стороны. Съем показаний температуры выполняли на расстоянии 0,75 радиуса от оси вращения (рисунок 1). Измерение температуры произведено пирометром Tem Pro 300 с диапазоном съема показаний: $-50^{\circ}\text{C} \dots +380^{\circ}\text{C}$. Поверхности торцевых крышек СЦ в местах измерения температуры очистили от загрязнений. Луч пирометра при измерении направляли под прямым углом к поверхности торцевой крышки. Расстояние от пирометра до поверхности крышки принято 0,8...1,0 м.

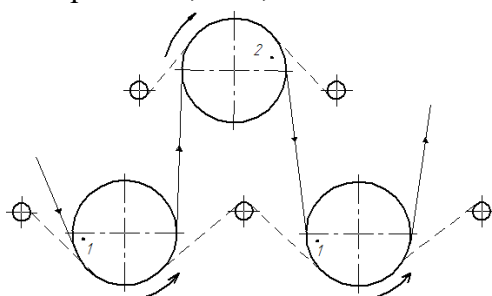


Рисунок 1– Схема контрольных точек измерений температур СЦ, где 1 – точка измерения температуры торцевой крышки СЦ нижнего ряда, 2 – верхнего ряда

Измерение температуры в каждой точке производили 3 раза с интервалом в 2 минуты. В таблицы данных измерения температуры в каждой точке внесли среднее арифметическое значение \bar{t}_k , среднее квадратичное отклонение S_k и допустимые уровни температуры $T_{k_{\min}}$ и $T_{k_{\max}}$. Экспериментальное исследование температуры выполнено у торцевых крышек СЦ с №12 по №22 и с №45 по №56.

Результаты исследований температура торцовых крышек СЦ II сушильной группы по пару с лицевой стороны в рабочем режиме: среднее арифметическое $\bar{t}_{II} = 67^{\circ}\text{C}$; среднее квадратичное отклонение $S_{II} = 9,4^{\circ}\text{C}$; допустимые уровни температуры: $T_{II_{\min}} = 49,8^{\circ}\text{C}$; $T_{II_{\max}} = 84,1^{\circ}\text{C}$. Результаты исследований температуры торцовых крышек СЦ I сушильной группы по пару с лицевой стороны в рабочем режиме: среднее арифметическое $\bar{t}_I = 93^{\circ}\text{C}$; среднее квадратичное отклонение $S_I = 10,6^{\circ}\text{C}$; допустимые уровни температуры: $T_{I_{\min}} = 74,2^{\circ}\text{C}$; $T_{I_{\max}} = 112,1^{\circ}\text{C}$.

Статистические характеристики температур торцевых крышек определены отдельно для каждой группы СЦ по пару.

График температур СЦ второй и первой группы по пару показаны на рисунках 2, 3. Из рисунка 2 следует, что СЦ второй группы имеют температуру поверхности не выходящую за границы допустимых уровней с преобладанием смещения температур к T_{\min} .

СЦ первой группы по пару (рисунок 3) более высокий уровень расчетных характеристик по сравнению со второй группой. СЦ № 51 имеет температуру поверхности 72°C , СЦ №56 – температуру 71°C , что ниже допустимого уровня $T_{I_{\min}} = 74,2^{\circ}\text{C}$.

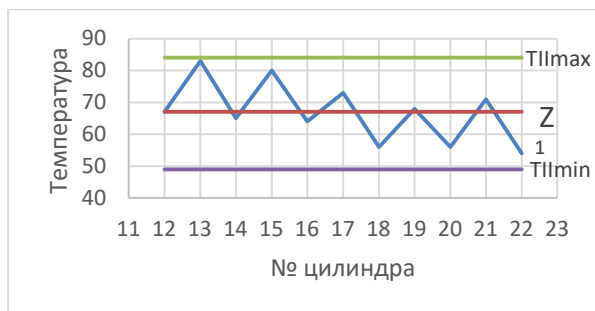


Рисунок 2 – Температура СЦ второй сушильной группы по пару: 1 – график измеренных значений температур СЦ; Z – среднее арифметическое значение температур, $T_{II\min}$ и $T_{II\max}$ – допустимые уровни температур

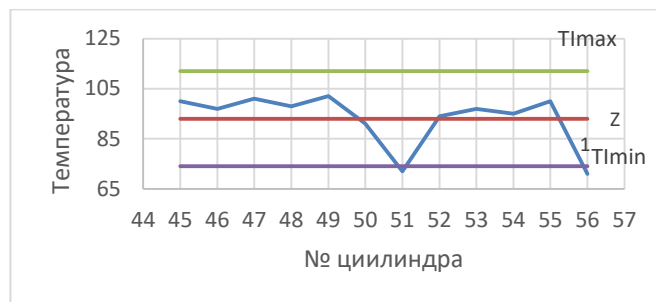


Рисунок 3 – Температура СЦ первой сушильной группы по пару: 1 – график измеренных значений температур СЦ; Z – среднее арифметическое значение температур, $T_{I\min}$ и $T_{I\max}$ – допустимые уровни температур

Поэтому следует проверить исправность пароконденсатной системы этих цилиндров при плановом останове бумагоделательной машины.

В СЦ скоростных БДМ конденсат, образующийся при охлаждении пара на внутренней поверхности, подвержен воздействию сил тяжести (G) и центробежных сил ($F_{ц}$) [2,3]. Движение конденсата на внутренней поверхности СЦ от действия сил тяжести и центробежных сил принципиально отличается от его движения по внутренней поверхности торцевых крышек. От действия сил G и $F_{ц}$ на внутренние стенки СЦ происходит образование конденсатного кольца. Оно значительно снизит теплопередачу от греющего пара к стенке СЦ и снижает эффективность контактной сушки бумажного полотна [2,4]. Совместное действие сил G и $F_{ц}$ на пленку конденсата, образующегося на внутренней поверхности торцевой крышки СЦ в работах [1,2,3] не исследовано. Из опыта работы тарельчатых дозаторов сыпучих и «псевдоожиженных» материалов [5] известно, что от совместного действия центробежных сил и силы тяжести частицы материалы перемещаются в направлении от оси вращения к периметру. Частицы конденсата и в целом конденсатная пленка, образующаяся при конденсации пара на внутренней поверхности торцевых крышек, аналогично псевдоожиженным материалам имеют движение от оси вращения к периметру, ограниченному внутренним радиусом СЦ. Другими словами, конденсат от действия центробежных сил движется с торцевых крышек в радиальном направлении от оси к боковой поверхности цилиндра, увеличивая толщину конденсатного кольца и уменьшая толщину конденсатной пленки на внутренней поверхности торцевых крышек.

На внутренней поверхности торцевых крышек из-за малой толщины пленки конденсата происходит более интенсивная конденсация греющего пара и нагрев поверхности по сравнению с внутренней боковой поверхностью СЦ. Тепловой поток от торцевых крышек направлен перпендикулярно от зоны контактной сушки бумаги на станины, стенки теплоизоляционного колпака атмосферу зала БДМ. Тепло, передаваемое окружающему воздуху от торцевых крышек СЦ, можно рассматривать как тепловые потери. Рассмотрим экономию греющего пара, расходуемого на сушку полотна бумаги, при установке теплоизоляции торцевых крышек. Боковую поверхность сушильного цилиндра определяем по формуле

$$F_{\bar{G}} = \pi DL = 3,14 \cdot 1,5 \cdot 6,8 = 32 \text{ м}^2,$$

где D – диаметр сушильного цилиндра; L – длина сушильного цилиндра.

Боковая поверхность сушильного цилиндра, соприкасающаяся с воздухом

$$F_{\bar{G},\beta} = \frac{1-\beta}{\beta} \cdot F_{\bar{G}} = \frac{1-0,569}{0,569} \cdot 32 = 24,2 \text{ м}^2,$$

где $\beta=0,569$ – средний коэффициент использования боковой поверхности сушильного цилиндра.

Поверхность торцевых крышек сушильного цилиндра, соприкасающаяся с воздухом

$$F_K = z \cdot \frac{\pi D^2}{4} = 2 \cdot \frac{3,14 \cdot 1,5^2}{4} = 3,53 \text{ м}^2,$$

где $z=2$ – количество торцевых крышек.

Общая поверхность сушильного цилиндра, соприкасающаяся с воздухом равна

$$F_{ц.о} = F_{б.б} + F_K = 24,2 + 3,53 = 27,73 \text{ м}^2.$$

Коэффициент теплопередачи поверхности торцевых крышек можно уменьшить их теплоизоляцией. Например, теплоизоляция минеральной ватой, уменьшаемой коэффициент теплопередачи (k) в 4 раза [2]. Сокращение тепловых потерь при теплоизоляции торцевых крышек сушильного цилиндра пропорционально сокращению поверхности контакта не теплоизолированных торцевых крышек с воздухом. Пропорциональную поверхность теплопередачи торцевых крышек после теплоизоляции определяем по формуле

$$F_{км} = z \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{1}{k} = 2 \cdot \frac{3,14 \cdot 1,5^2}{4} \cdot \frac{1}{4} = 0,88 \text{ м}^2,$$

где $k=4$ – коэффициент теплопередачи.

Расчет тепловых потерь без теплоизоляции и с теплоизоляцией торцевых крышек выполнен по методике [1]. Было получено, что тепло Q_6 , отдаваемое СЦ без теплоизоляции торцевой крышки в окружающий воздух, равен 10600 кДж, а тепло $Q_{6т}$, отдаваемое СЦ с теплоизоляцией торцевой крышки равно 4900 кДж.

Часовая потеря тепла в окружающую среду после теплоизоляции торцевых крышек сушильного цилиндра составит 5700 кДж. Часовая экономия греющего пара при теплоизоляции торцевых крышек сушильного цилиндра [2] – $D = 146$ кг/ч.

Отметим, что тепловой поток от торцевых крышек сушильного цилиндра направлен, в основном на станины сушильной части и в зал бумагоделательной машины. Теплоизоляция торцевых крышек сушильных цилиндров, наряду с экономией пара, способствует созданию более комфортных температурных условий в зоне бумагоделательной машины для обслуживающего персонала.

По работе можно сделать выводы: выполнены экспериментальные измерения и рассчитаны допустимые уровни температур СЦ. По допустимым уровням температур обнаружены СЦ с повышенной температурой. Исследованы тепловые потери и определено снижение расхода пара в СЦ при теплоизоляции торцевых крышек.

Список литературы

1. Бушмелев В. А. Процессы и аппараты целлюлозно-бумажного производства : [Учебник для техникумов целлюлозно-бум. пром-сти] / В. А. Бушмелев, Н. С. Вольман. - 2-е изд., испр. и доп. – М.: Лесная пром-сть, 1969. - 408 с.
2. Жучков П.А. Тепловые процессы в целлюлозно - бумажном производстве / П. А. Жучков. - М.: Лесная пром-сть, 1978. - 408 с.
3. Леонович А.А., Сиваков В.П., Вураско А.В. Основы научных исследований в химической и химико-механической переработке растительного сырья: учеб. Пособие. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2010. - 137 с.
4. Куров В.С., Кокушин Н.Н. Теория и конструкция машин и оборудования отрасли. Бумаго- и картоноделательные машины: Учеб. пособие / Под ред. В.С. Курова, Н. Н. Кокушина. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. 588 с.
5. Технологическое оборудование, оснастка и основы проектирования упаковочных производств: Учебное пособие / А.И. Веселов, И.А. Веселова. - М.: ИНФРА-М, 2011. - 262 с.: 60х90 1/16. - (Высшее образование).

УДК 504.4.054

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПРИ ВСПУХАНИИ АКТИВНОГО ИЛА

Соловьёва А.С.¹, Сакаева Э.Х.¹

¹ФГБОУ ВО Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, г. Пермь

Ключевые слова: хлорелла, ферменты, сточная вода, целлюлозно-бумажная промышленность, биологическая очистка, активный ил, вспухание активного ила, гидробиологический анализ.

Аннотация. Спецификой сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности является высокое содержание трудноокисляемых органических соединений. Очистка сточных вод на предприятиях целлюлозно-бумажной отрасли осуществляется биохимическим методом в аэротенках, при этом часто возникает проблема вспухания активного ила. В целях преодоления данной проблемы было рассмотрено применение ферментных препаратов при нитчатом вспухании активного ила и применение одноклеточной водоросли *Chlorella vulgaris* при гелевом вспухании. Доказано положительное влияние Фермента 1 и Фермента 2 на биоценоз активного ила при борьбе с нитчатым вспуханием, а также положительное влияние хлореллы на биоценоз активного ила при борьбе с гелевым вспуханием.

INTENSIFICATION OF BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT PULP AND PAPER INDUSTRY IN SWELLING OF ACTIVATED SLUDGE

Solovyova A.S.¹, Sakaeva E.K.¹

¹Perm National Research Polytechnic University, Perm

Key words: chlorella, enzymes, wastewater, the Pulp and Paper Industry, biological treatment, activated sludge, swelling of the activated sludge, hydrobiological analysis.

Abstract. The specificity of waste water pulp and paper industry is a high content of hard-to-oxidize organic compounds. Wastewater treatment in the pulp and paper industry is carried out by biochemical method in aerotank, and often there is a problem of swelling of activated sludge. In order to overcome this problem, the use of enzyme preparations for filamentous swelling of activated sludge and the use of unicellular algae *Chlorella vulgaris* in gel swelling were considered. The positive effect of Enzyme 1 and Enzyme 2 on the biocenosis of activated sludge in the fight against filamentous swelling, as well as the positive effect of *Chlorella* on the biocenosis of activated sludge in the fight against gel swelling.

Целлюлозно-бумажное производство (ЦБП) – одна из лидирующих отраслей промышленности по объему образования сточных вод (СВ). Высокий объем образования СВ определяет специфика технологического процесса, в среднем на производство одной тонны продукции ЦБП требуется 350 м³ воды [1]. СВ ЦБП характеризуются высокими показателями БПК и ХПК, высоким содержанием жирных и смоляных кислот, сернистых соединений, лигнина и его производными, а также содержанием взвешенных веществ (частицы коры, волокна целлюлозы, минеральные частицы) [2]. Ввиду высокой биоокисляемости многих компонентов для очистки СВ ЦБП широко применяют метод биологической очистки в аэротенках. Часто предприятия ЦБП оснащены биологическими очистными сооружениями (БОС).

Метод биологической очистки СВ основан на способности микроорганизмов окислять растворенные в СВ органические соединения. При этом изменение компонентного состава СВ или залповые сбросы больших объемов стоков влекут за собой нарушение условий обитания микроорганизмов активного ила (АИ). Наиболее часто на предприятиях ЦБП встречается проблема вспухания АИ, т.е. нарушения внутреннего динамического равновесия в эко-

системе ила и формирование более примитивного, но устойчивого к данным условиям биоценоза. В результате обеднения видового состава значительно ухудшается качество очистки СВ. На практике при очистке СВ ЦБП определяется как нитчатое, так и гелевое вспухание АИ. При нитчатом вспухании биоценоз АИ в большинстве представлен организмами нитчатой формы, актиномицетами и микроскопическими грибами. Гелевое вспухание характеризуется избыточным количеством экзополимерного геля, который выделяют сапрофитные бактерии для налаживания механизма деструкции трудноокисляемых соединений, и легко диагностируется при микроскопировании АИ, часто его вызывают бактерии *Zoogloea ramigera* [3]. Подавление вспухания АИ и улучшения его биоценоза при очистке стоков ЦБП является актуальной эколого-технологической задачей.

Известными способами интенсификации процесса очистки СВ на БОС ЦБП при вспухании АИ является применение ферментных препаратов и использование питательного субстрата водоросли *Chlorella vulgaris*.

Целью исследований являлась оценка возможности использования различных ферментных препаратов для подавления нитчатого вспухания АИ и субстрата одноклеточной водоросли *Chlorella vulgaris* для подавления гелевого вспухания.

Экспериментальное исследование было проведено в два этапа:

1. Оценка возможности использования ферментных препаратов при нитчатом вспухании активного ила;
2. Оценка возможности использования одноклеточной водоросли *Chlorella vulgaris* при гелевом вспухании активного ила.

На первом этапе исследований были рассмотрены 2 биопрепарата, представляющих собой смесь порошковых ферментов и бактерий, стабилизаторов, питательных веществ и минералов [4]. Оценку эффективности применения биопрепаратов для борьбы с нитчатым вспуханием проводили по технологическим параметрам (динамика оседания АИ, иловый индекс, доза ила по массе и по объему) и гидробиологическим показателям. Для экспериментальных исследований были выбраны минимальные и максимальные дозы биопрепаратов, согласно паспортам на биопрепараты. Экспериментальные исследования проводили в лабораторных аэротенках с использованием АИ подверженного нитчатому вспуханию и СВ с БОС одного из предприятий ЦБП Пермского края. Время контакта СВ с АИ в аэротенке составило 20 и 40 часов.

Для определения влияния ферментных препаратов на технологические параметры АИ в процессе очистки СВ контролировали следующие показатели: динамику оседания АИ, дозу АИ по массе и объему, а также определяли иловый индекс. В таблице 1 представлена характеристика гидрохимических показателей АИ.

Таблица 1 – Характеристика активного ила по гидрохимическим показателям

Образец (доза фермента)	Исходный АИ			20 часов			40 часа		
	Доза ила по массе, г/л	Доза ила по объему, мл/л	Иловый индекс, мл/г	Доза ила по массе, г/л	Доза ила по объему, мл/л	Иловый индекс, мл/г	Доза ила по массе, г/л	Доза ила по объему, мл/л	Иловый индекс, мл/г
Фермент 1 (min)	2,4	89	371	2,5	35	140	2,3	79	343
Фермент 1 (max)	2,4	89	371	2,4	47	196	2,1	36	171
Фермент 2 (min)	2,3	89	387	2,4	58	242	2,3	70	304
Фермент 2 (max)	2,3	89	387	2,3	63	274	2,3	73	317
Холостая (без добавления фермента)	2,4	89	371	2,5	65	260	2,4	62	258

Наилучшая динамика оседания АИ наблюдалась через 20 часов экспозиции при применении Фермента 1 в минимальной (35 мл/л) и максимальной (47 мл/л) дозе. Через 40 часов экспозиции динамика оседания вернулась на первоначальный уровень, кроме пробы, обработанной Ферментом 1 в максимальной дозе (36 мл/л).

Иловый индекс характеризует седиментационные свойства ила с учетом его сухой массы. Оптимальное значение илового индекса составляет от 80 до 120 см³/г. Диапазон допустимых значений – от 60 до 150 см³/г [5]. Как показал анализ результатов, значения илового индекса исходного АИ имеют значительные превышения над допустимыми, что свидетельствует о низких седиментационных свойствах АИ и подтверждает нитчатое вспухание. Спустя 20 часов после обработки ферментным препаратом значение илового индекса значительно снижалось в пробах, обработанных Ферментом 1, однако спустя 40 часов экспозиции значительное снижение илового индекса по сравнению с исходными значениями отмечалось только в пробе обработанной Ферментом 1 в максимальной дозе и составило 171 мл/г.

Для оценки влияния ферментных препаратов на биоценоз АИ ежедневно проводили микроскопирование проб АИ. Количественный учет проводили по пятибалльной шкале: 1 – единично, 2 – мало, 3 – порядочно, 4 – много, 5 – масса. По результатам контроля гидробиологических показателей было установлено, что в пробах, обработанных ферментными препаратами в минимальной и максимальной дозе, наблюдалось улучшение биоценоза АИ, а именно снижение числа микроскопических грибов и актиномицетов, уплотнение хлопьев АИ и появление различных видов простейших. Микробиологический состав исходного АИ и АИ после обработки ферментными препаратами представлены на рисунке 1.

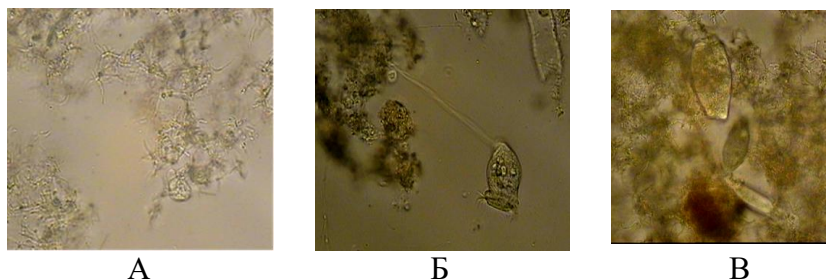


Рисунок 1 – Изменение биоценоза АИ после обработки ферментами: А - хлопок исходного АИ с нитчатым вспуханием; Б,В – появление простейших: инфузория р. *Vorticella* и колониальные инфузории р. *Opercularia* соответственно

При применении Фермента 1 обнаружены бесцветные жгутиконосцы р. *Bodo* (2б), инфузории р. *Colpidium* (1б), р. *Paramecium* (1б), р. *Opercularia* (1б). При обработке Ферментом 2 - бесцветные жгутиконосцы р. *Bodo* (1б), инфузории р. *Colpidium* (2б). В холостой пробе без обработки ферментными препаратами хлопья АИ рыхлые, с большим количеством нитей микроскопических грибов и актиномицетов и отсутствием простейших микроорганизмов.

При применении Фермента 1 обнаружены бесцветные жгутиконосцы р. *Bodo* (2б), инфузории р. *Colpidium* (1б), р. *Paramecium* (1б), р. *Opercularia* (1б). При обработке Ферментом 2 - бесцветные жгутиконосцы р. *Bodo* (1б), инфузории р. *Colpidium* (2б). В холостой пробе без обработки ферментными препаратами хлопья АИ рыхлые, с большим количеством нитей микроскопических грибов и актиномицетов и отсутствием простейших микроорганизмов.

На втором этапе исследования оценивали эффективность применения микроводоросли *Chlorella vulgaris* при гелевом вспухании АИ. *Chlorella vulgaris* является одноклеточным фотосинтезирующим микроорганизмом. Для стабильной жизнедеятельности хлореллы требуются свет, вода, диоксид углерода, минеральные вещества и кислород. Основная роль хлореллы в процессе биологической очистки СВ сводится к поглощению и накоплению токсиантов, а также выполнению функции питательного субстрата для гетеротрофных микроорганизмов [6].

Для оценки эффективности применения одноклеточной водоросли *Chlorella vulgaris* при борьбе с гелевым вспуханием АИ были проведены экспериментальные исследования в лабораторных азротенках с использованием АИ с БОС ЦБП, подверженного гелевому вспуханию, и СВ одного из предприятий ЦБП Пермского края. Доза субстрата одноклеточной водоросли *Chlorella vulgaris* составила 100 мл/л при его оптической плотности 1,4 – 1,6.

По результатам анализа седиментационной характеристики АИ спустя 20 и 40 часов после его контакта с субстратом одноклеточной водоросли *Chlorella vulgaris* установлено, что хлорелла оказывает положительное влияние на динамику оседания АИ.

Спустя 20 часов экспозиции динамика оседания АИ с добавлением хлореллы не имеет значительных изменений по сравнению с динамикой оседания АИ без обработки, однако спустя 40 часов экспозиции можно отметить значительные улучшения динамики оседания АИ обработанного хлореллой. Динамика оседания исходного АИ и АИ с добавлением хлореллы спустя 20 и 40 часов после контакта с субстратом представлена на рис.2.

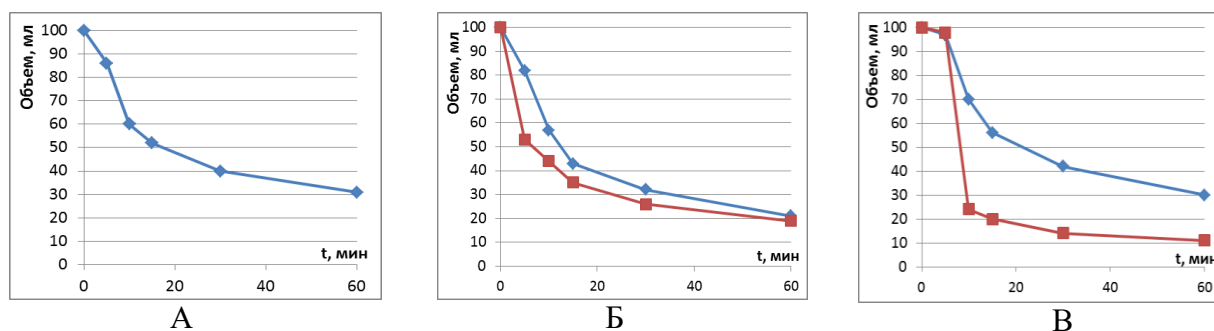


Рисунок 2 – Динамика оседания за 60 минут: А – исходного АИ, Б – АИ спустя 20 часов экспозиции, В – АИ спустя 48 часов экспозиции

Для оценки эффективности применения одноклеточной водоросли *Chlorella vulgaris* при гелевом вспухании АИ по гидробиологическим показателям ежедневно проводили микроскопирование проб АИ. По результатам контроля гидробиологических показателей было установлено, что в пробах с добавлением хлореллы наблюдалось улучшение биоценоза и постепенное снижение гелевого вспухания АИ, а именно: появление различных видов простейших, уплотнение хлопка АИ, подавление развития бактерий *Zoogloea ramigera* и их полное вымещение различными видами простейших. Микробиологический состав исходного АИ и АИ после обработки хлореллой представлены на рисунке 3.

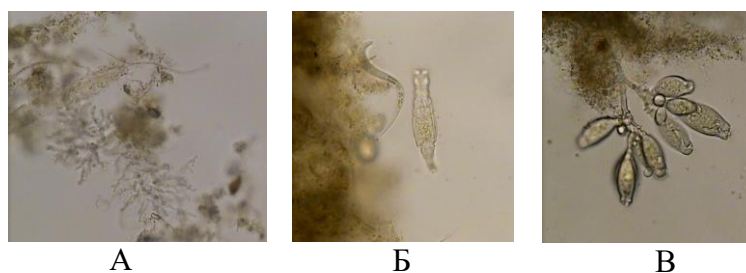


Рисунок 3 – Микробиологический состав активного ила: А - бактерия *Zoogloea ramigera* в исходном АИ с гелевым вспуханием, Б – червь р. *Nematodes* и коловратка в АИ после обработки субстратом хлореллы, В – колониальные инфузории р. *Opercularia* в АИ после обработки субстратом хлореллы.

Спустя 20 часов после контакта АИ, подверженного гелевому вспуханию, с субстратом одноклеточной водоросли *Chlorella vulgaris* были обнаружены: жгутиконосцы р. *Bodo* (26), инфузории р. *Aspidisca* (26) и р. *Opercularia* (26), коловратки, также отмечалось присутствие значительного количества бактерий *Zoogloea ramigera*. Спустя 40 часов после контакта были обнаружены: жгутиконосцы р. *Bodo* (26), инфузории р. *Aspidisca* (26), р. *Litonotus* (16), кол-

лонияльные инфузории р. *Opercularia* (3б), коловратки, червь р. *Nematodes*. При этом спустя 40 часов после контакта пробы с субстратом одноклеточной водоросли *Chlorella vulgaris* бактерий *Zoogloea ramigera* обнаружено не было, хлопок АИ стал более плотным, свободных бактерий нет. В холостой пробе без добавления субстрата водоросли *Chlorella vulgaris* как спустя 20 часов, так и спустя 40 часов экспозиции гелевое вспухание АИ наблюдалось по-прежнему: хлопья АИ остались рыхлыми, наблюдалось практически полное отсутствие простейших и массовое развитие бактерий *Zoogloea ramigera*.

Проведенные эксперименты позволили сделать следующие выводы:

1. Использование ферментных препаратов при нитчатом вспухании АИ позволяет улучшить качество АИ по технологическим параметрам (седиментационная характеристика, снижение дозы ила до допустимых значений) и гидробиологическим показателям (увеличение разнообразия биоценоза АИ);
2. По результатам экспериментальных исследований можно рекомендовать Фермент 1 в максимальной дозе для борьбы с нитчатым вспуханием АИ на БОС ЦБП;
3. Использование одноклеточной водоросли *Chlorella vulgaris* при гелевом вспухании АИ позволяет улучшить качество АИ по седиментационным характеристикам и гидробиологическим показателям (увеличить разнообразие биоценоза), а также постепенно исключить гелевое вспухание АИ.

Список литературы

1. Техническая рабочая группа № 1 (ТРГ-1) «Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона». Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона. Москва Бюро НДТ, 2015.
2. Ragunathan R., Swaminathan K. Biological treatment of a pulp and paper industry effluent by *Pleurotus* spp. // *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. June 2004.
3. Никитина, О.Г. Типы хлопьев активного ила // Новые направления в технологии, автоматизации и проектировании водоснабжения и водоотведения. – М.: Мосводоканал НИИ проект, 1991. – С. 40-45.
4. Болотова К.С., Новожилов Е.В. Применение ферментных технологий для повышения экологической безопасности целлюлозно-бумажного производства // *Химия растительного сырья* 2015 №3 С.5-23.
5. Жмур, Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками/Н.С. Жмур – М.: Акварос, 2003. – 370 с.
6. Старовойтов С.В., Халил А.С. Влияние внешних факторов на скорость биохимических реакций микроводорослей // *ИВД*. 2017. №2 (45).

УДК 676.2

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ БУМАГИ ДЛЯ ГОФРИРОВАНИЯ

Теплоухова М.В.¹, Артемьева А.В.¹, Андраковский Р.Э.¹
¹ФГБОУ ВО Пермский национальный исследовательский
 политехнический университет, г. Пермь

Ключевые слова: макулатурная масса, связующие вещества, бумага для гофрирования, электрокинетические параметры, показатели прочности бумаги, деформационные свойства.

Аннотация. Исследовано влияние катионных полимерных добавок на прочность бумаги для гофрирования, изготовленной из макулатурной массы. В качестве добавок были использованы катионный крахмал и Fennobond 3300E.

THE STUDY OF THE PROPERTIES OF FLUTING

Teplouhova M.V.¹, Artemeva A.V.¹, Andrykowski R.E.¹¹Perm National Research Polytechnic University, Perm

Key words: waste paper, binders, fluting, electrokinetic parameters, the strength of paper, the deformation properties.

Abstract. The influence of cationic polymer additives on the strength of fluting is investigated. Cationic starch and Fennobond 3300E were used as additives.

В настоящее время объемы потребления макулатуры в производстве бумаги и картона растут, особенно в производстве тароупаковочных видов бумаги и картона.

Вторичные волокна характеризуются пониженной индивидуальной прочностью, повышенной хрупкостью и ломкостью. Частичная потеря пластичности и эластичности волокон, сопровождается слабой способностью к образованию межволоконных связей. Кроме того, вторичные волокна характеризуются пониженной способностью к набуханию, гидратации и фибриллированию [1]. Эти особенности обуславливают проблему снижения прочности бумаги и картона, изготовленных на основе вторичных волокон. Наиболее значима эта проблема для тароупаковочной картонно-бумажной продукции, для которой прочность является основным свойством.

Возникающие технологические трудности производства бумаги на основе макулатурного сырья, вызванные нестабильным фракционным составом и пониженными бумагообразующими свойствами вторичного сырья, приводят к необходимости применения химических вспомогательных веществ, способных повысить физико-механические свойства бумаги [2-5]. В связи с этим в настоящее время для улучшения прочности бумаги (картона) предлагается достаточно большой ряд различных природных и синтетических связующих полимеров.

Цель данной работы – изучить влияние химических связующих веществ на прочностные характеристики бумаги для гофрирования, изготовленной из 100 % макулатуры.

Для исследования использовали макулатурную массу, приготовленную из макулатуры марки МС-5Б в промышленных условиях. Масса была отобрана из машинного бассейна картонно-бумажного цеха, т.е. до введения в массу каких-либо химических веществ, и содержала некоторое количество загрязняющих примесей. Степень помола массы составляла 22°ШР.

Для исследования макулатурная масса распускалась в дезинтеграторе, далее из распущенной массы на листоотливном аппарате изготавливалась бумага для гофрирования плотностью 112 г/м². При изготовлении отливок использовалась свежая вода для каждой отливки.

В эксперименте для упрочнения бумаги в сухом состоянии использовали следующие связующие вещества: катионный крахмал кукурузный (степень замещения 0,04 моль/моль) отечественного производства и катионная синтетическая добавка «Fennobond 3300E» (производитель – финская компания Kemira). Химикаты индивидуально или в сочетании добавлялись в массу с определенным удельным расходом.

Электрокинетические свойства бумажной массы являются одним из факторов прочности бумаги. В связи с этим, в качестве контролируемых показателей были приняты: для макулатурной массы – катионная потребность (КП) и дзета-потенциал, для бумаги для гофрирования – разрывная длина, сопротивление плоскостному и торцевому сжатию.

Определение ζ-потенциала волокон в макулатурной массе проводили на аппарате Mutek SZP-06. Методика определения дзета-потенциала основана на измерении потенциала протекания между двумя электродами. Катионную потребность определяли методом титрования с использованием в качестве электролита (титранта) полиадамака на приборе Mutek PCD-04.

Результаты экспериментов по влиянию полимерных связующих на электрокинетические свойства и обезвоживаемость бумажной массы, и показатели механической прочности бумаги для гофрирования представлены в таблицы 1 и 2, соответственно.

Из таблицы 1 следует, что добавляемые в массу исследуемые полимеры в разной степени уменьшают отрицательное значение ζ -потенциала волокон и катионную потребность макулатурной массы.

В исследуемых условиях синтетическая смола «Fennobond 3300E» позволяет в большей степени уменьшить катионную потребность массы (КП снижается до 40 мк-экв/л против 56 мк-экв/л для крахмала), т.е. добавка проявляет лучшие фиксирующие свойства по отношению к анионным загрязнителям по сравнению с крахмалом. При этом катионный крахмал обеспечивает более эффективное снижение отрицательного заряда поверхности волокон (ζ -потенциал уменьшается при использовании крахмала до 33 мВ, «Fennobond 3300E» – до 43 мВ), что означает более высокую сорбционную способность вторичных волокон по отношению к крахмалу.

Таблица 1– Влияние связующих веществ на свойства бумажной массы

N пп	Вид химиката	Расход полимера в массу, кг/т	Электрокинетические показатели		Продолжительность обезвоживания массы (700 мл), с
			катионная потребность, мк-экв/л	ζ -потенциал, мВ	
1	–	–	98	-55,6	45
2	Fennobond 3300E	5	90	-51,0	42
3	Fennobond 3300E	10	60	-50,8	41
4	Fennobond 3300E	15	40	-44,6	42
5	Fennobond 3300E	20	44	-43,2	41
6	крахмал	5	61	-40,2	44
7	крахмал	7	56	-38,7	44
8	крахмал	9	58	-34,1	44
9	крахмал	11	57	-33,1	43
10	Fennobond 3300E + крахмал	5+7	49	-39,3	44

Установлено, что электрокинетические показатели в большей степени уменьшаются при увеличении расхода «Fennobond 3300E» до 15 кг/т, крахмала – до 9 кг/т. Совместное использование катионных добавок также является эффективным.

Синтетическая добавка «Fennobond 3300E» позволила, в исследуемых условиях, сократить время обезвоживания массы на 3-4 секунды (таблица 1). При использовании крахмала показатель уменьшился лишь на 1-2 секунды.

Изменение электрокинетических показателей бумажной массы, в целом, вызывает изменение физико-механических показателей бумаги. При увеличении расхода исследуемых связующих веществ увеличиваются показатели механической прочности бумаги. Более эффективным для повышения прочности бумаги является синтетическая катионная добавка «Fennobond 3300E». В исследуемых условиях для повышения прочности бумаги оптимальным следует считать расход: «Fennobond 3300E» – 15 кг/т, крахмала – 9 кг/т (таблица 2). При оптимальном расходе в массу связующего вещества «Fennobond 3300E» увеличение разрывной длины бумаги составляет ~ 30 %, сопротивление плоскостному сжатию ~13 %, сопротивление торцевому сжатию – более 30 %. При оптимальном расходе крахмала эти значения составляют ~ 7, ~ 7,5 и ~ 22 %, соответственно.

Физико-механические свойства бумаги для гофрирования следует рассматривать с двух точек зрения. С точки зрения потребительских свойств гофротары гофрированный слой в гофрокартоне выполняет амортизационную функцию, которая во многом зависит от прочности бумаги для гофрирования. С точки зрения переработки бумаги для гофрирования в гофрослой бумага должна обладать высокими упруго-пластичными свойствами для предотвращения разрушения бумаги в процессе гофрообразования на гофроагрегате.

Таблица 2– Влияние связующих веществ на показатели механической прочности бумаги

№ пп	Вид химиката	Расход связующего в массу, кг/т	Показатели прочности бумаги		
			разрывная длина, м	сопротивление плоскостному сжатию, Н	сопротивление торцевому сжатию, кН/м
1	–	–	3320	132	1,00
2	Fennobond 3300E	5	3400	139	0,90
3	Fennobond 3300E	10	3965	136	0,93
4	Fennobond 3300E	15	4380	149	1,33
5	Fennobond 3300E	20	4175	135	1,05
6	крахмал	5	3520	139	0,98
7	крахмал	7	3475	141	1,06
8	крахмал	9	3570	142	1,22
9	крахмал	11	3720	133	1,10
10	Fennobond 3300E + крахмал	5+7	3665	139	1,14

В связи с этим в следующей серии опытов были изучены физико-механические свойства бумаги, измеренные на вертикальной разрывной машине модели F81838, которая позволяет в автоматическом режиме определить ряд прочностных и деформационных показателей.

Для опытов данной серии использовали макулатурную массу, приготовленную в лабораторных условиях из отходов производства бумаги и картона. Полученный образец отличался меньшей сорностью по сравнению с образцом, отобранным из производственного потока. Степень помола образца - 21 °ШР.

Из представленных в таблице 3 данных видно, что, как и в предыдущей серии опытов, присутствие полимеров в бумажной композиции благоприятно влияет на прочностные свойства бумаги. Образец, изготовленный без химикатов, имеет наименьшую прочность. Максимальные показатели бумаги достигаются при использовании синтетического полимера «Fennobond 3300E». Добавка в композицию бумаги «Fennobond 3300E» обеспечивает значительное увеличение модуля эластичности бумаги (приблизительно на 38 %). Использование в композиции бумаги крахмального клея, наоборот, понижает этот показатель на ~ 20 %.

Таблица 3 – Физико-механические характеристики бумаги для гофрирования

Показатели	Используемые в композиции бумаги химикаты			
	Без химикатов	Fennobond 3300E (15 кг/т)	Крахмал (9 кг/т)	Fennobond 3300E + крахмал (5+7 кг/т)
Максимальное усилие при растяжении, Н	63,8	91,7	82,6	87,9
Сопротивление разрыву при растяжении, кН/м	4,3	6,1	5,6	5,9
Разрывная длина, км	3,87	5,56	5,01	5,33
Модуль эластичности, Н/мм ²	5186,32	7135,22	4150,90	5627,47

Таким образом, исследуемые добавки обеспечивают увеличение прочности бумаги. Более эффективной является синтетическая катионная смола «Fennobond 3300E», которая позволяет повысить и прочностные, и упруго-пластичные свойства бумаги. Крахмал обеспечивает повышение прочностных свойств бумаги при снижении модуля эластичности.

Список литературы

1. Южанинова, Л.А., Дулькин Д.А, Спиридонов В.А, Комаров В.И. Особенности технологии бумаги-основы для гофрирования из макулатуры и требования к ее потребительским свойствам. Архангельск, 2007. - 103 с.

2. Идиатулин А.М. О применении катионного крахмала в производстве бумаги и картона из вторичного волокна // Научные труды 5-й международной конф. Караваево, 2004. С. 58-62.
3. Колесников В.Л. Бумага и картон из волокнисто-полимерных композиций. Минск: БГТУ, 2004. 274 с.
4. Осипов П.В. Совершенствование производства продукции со свойствами влагопрочности // Наука и технология. 2012. № 7. С. 56–59
5. Кожевников С.Ю., Вдовина О.С., Ковернинский И.Н. Химические продукты и инновации «СКИФ Спешиал Кемикалз» для бумаги и картона // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2015. №5. С. 64–66.

УДК 676.164.8

ПРОЦЕСС РАСТВОРЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ДРЕВЕСИНЫ БЕРЁЗЫ ПРИ ДВУХ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ВАРКИ В СИСТЕМЕ ГИДРОКСИД КАЛИЯ – ГИДРАЗИН – ИЗОБУТИЛОВЫЙ СПИРТ – ВОДА

Удальцов В.А.¹, Вураско А.В.¹

¹ФГБОУ ВО Уральский государственный лесотехнический
университет, г. Екатеринбург

Ключевые слова: варка, берёза, гидроксид калия, гидразин, изобутиловый спирт.

Аннотация. Приведено описание двухступенчатого способа варки с использованием гидроксида калия, гидразина, изобутилового спирта и воды. Представлено сравнительное исследование варки при двух температурах 130 °С и 140 °С. Рассмотрено и дано описание явлениям, происходящим с компонентами древесины при пропитке и варке.

THE PROCESS OF COMPONENTS OF BIRCH WOOD DISSOLUTION UNDER TWO DIFFERENT COOKING TEMPERATURES IN THE SYSTEM OF POTASSIUM HYDROXIDE, HYDRAZINE, ISOBUTYL ALCOHOL, WATER

Udaltsov V.A.¹, Vurasko A.V.¹

¹Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg

Key words: pulping, birch wood, potassium hydroxide, hydrazine, isobutyl alcohol.

Abstract. Two staged cooking method with the usage of potassium hydroxide, hydrazine, isobutyl alcohol and water is described. The comparative research of cooking under two temperatures 130 °C and 140 °C is presented. The processes which take place during the wood components impregnation and cooking has been reviewed and described.

В качестве альтернативы натронному и сульфатному способам варки предлагается щелочной способ, в котором вместо соединений натрия для делигнификации при варке древесины действуют соединения калия. Этот способ может подойти для малых предприятий, которые не могут позволить использовать сложную систему регенерации химикатов. Способ варки двухступенчатый и основывается на низкотемпературной пропитке древесной щепы водным щелочным раствором (первая ступень); на частичном отборе отработанного раствора по окончании пропитки с заменой его на изобутиловый спирт со снижением жидкостного модуля; на варке с быстрым подъёмом температуры до конечной (вторая ступень).

Комбинация реагентов для варки в системе гидроксид калия – гидразин – изобутиловый спирт – вода способна реализовать такие преимущества:

- **гидроксид калия** в качестве делигнифицирующего реагента позволяет использовать калиевые соединения в двух последовательно выстроенных технологиях: производство целлюлозы и производство органоминеральных удобрений [1, 2];

- **гидразин** являясь восстановителем и щелочным реагентом, ускоряет процесс делигнификации древесины и одновременно защищает углеводные компоненты от реакции отщепления (“*peeling*”), повышая выход целлюлозы. Продукт его деструкции – аммиак послужит источником азота при получении органоминеральных удобрений;

- **изобутиловый спирт** является реагентом, ограниченно смешивающийся с водой, но не растворяет гидроксид калия и гидразин. После пропитки древесной щепы водным раствором, содержащим гидроксид калия и гидразин, и отбора избыточного пропиточного раствора добавляемый непосредственно на варку изобутиловый спирт препятствует выходу из капиллярно-пористой системы древесины делигнифицирующих реагентов, сохраняя их высокую концентрацию в зоне реакций. По окончании варки изобутиловый спирт легко отделяется отслаиванием от водного слоя, содержащего остаток делигнифицирующих реагентов и основную часть продуктов деструкции лигнина и других компонентов древесины.

У исследуемого способа варки следующие преимущества:

- **низкая температура пропитки** (около 20 °С) не позволяет глубоко развиваться химическим реакциям древесного вещества с варочными реагентами, поэтому появляется возможность использовать отработанный после пропитки раствор для следующего цикла пропитки и варки. В таком способе цель пропитки – ввести в контакт древесные вещества с химическими реагентами, предназначенными для варки;

- **снижение температуры варки** (по сравнению с температурой классической сульфатной варки 165...175 °С, при непрерывной варке 170...175 °С [3]) вплоть до 130 °С без значительного ущерба для механических показателей целлюлозных волокон. Направлено на понижение энергозатрат, так щелока после варки будут направлены на переработку в удобрения, а не в СРК для их регенерации и получения пара;

- **возможность создания замкнутого цикла варки** с максимальным использованием реагентов: отработанного пропиточного раствора и отделённого слоя изобутанола после варки без использования перегонки в связи с постоянно повышающейся стоимостью сырья и реагентов.

По результатам ранее проведённых исследований [4], установлено, что минимально возможная температура для получения целлюлозы без ущерба для выхода является температура 130 °С. Проведены две серии варок с конечной температурой 130 °С и 140 °С с целью достижения равного (в пределах погрешности эксперимента) лигнина в целлюлозе: 4,1 % и 4,6 % соответственно. Условия проведения серий варок следующие. Пропитка: расход гидразина 20 % от массы абсолютно-сухой (далее – а. с.) щепы, продолжительность 5 ч, жидкостный модуль 4:1, температура пропитки 20±2 °С, концентрация КОН в пропиточном растворе 140 г К₂О/дм³ (для первой серии) и 110 г К₂О/дм³ (для второй).

По окончании пропитки отбирали часть избыточного щелочного раствора (в количестве 50 % от объёма заданного на пропитку), с последующим добавлением в автоклав изобутилового спирта с доведением жидкостного модуля для варки 3,5:1,0. Подъём температуры до конечной осуществлялся в течение 0,5 ч, максимальная продолжительность варки на конечной температуре 6 ч (для первой серии) и 3 ч (для второй серии). На рисунке 1 представлено изменение содержания непровара, отсортированной целлюлозы и перешедших в раствор компонентов древесины в зависимости от продолжительности процесса пропитки и последующей варки на конечной температуре 140 °С и 130 °С.

Как видно на рисунке 1 а, несмотря на низкую температуру пропитки происходит непрерывное снижение выхода древесного остатка на протяжении вплоть до 2,5 ч (первый этап), на втором этапе (продолжительность свыше 2,5 ч) растворения древесного вещества при заданных условиях не происходит. На рисунке 1 б наблюдается аналогичная картина, но непрерывное снижение выхода древесного остатка происходит на протяжении всей продолжительности пропитки – 5 ч. На кривой можно выделить два этапа: быстрого растворения (от 0 ч до 2,5 ч) и медленного растворения (от 2,5 ч до 5,0 ч) древесного вещества.

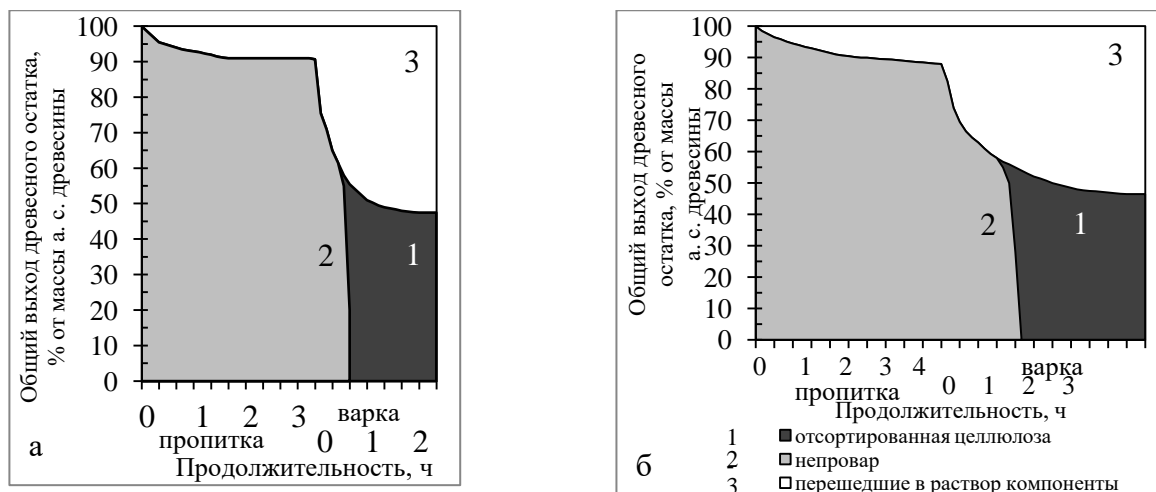


Рисунок 1 – Изменение содержания непровара, отсортированной целлюлозы и перешедших в раствор компонентов древесины в зависимости от условий процесса:
а – при варке при температуре 140 °С; б – при варке при температуре 130 °С

Сравнив количество переходящего в раствор древесного вещества (рисунок 2), при концентрации раствора гидроксида калия 140 г $K_2O/дм^3$ древесного вещества растворяется больше (около 12,0 %), чем при концентрации 110 г $K_2O/дм^3$ (около 9,3 %). Таким образом, на этапе пропитки на процесс растворения древесного вещества влияет концентрация гидроксида калия в растворе, и чем она выше, тем большее количество компонентов древесины переходит в раствор. Такое явление можно объяснить тем, что при высокой концентрации древесины набухает сильнее, увеличивается доступность низкомолекулярных углеводов и лигнина для взаимодействия с КОН. На рисунке 2 заметно, что основное количество компонентов древесины, переходящих в раствор при пропитке, переходит на первом этапе.

После пяти часов пропитки следует быстрый подъём температуры до конечной. На кривой выхода древесного остатка (непровара или целлюлозы) (кривая 1) на участке подъёма до достижения конечной температуры 140 °С наблюдается резкое падение выхода древесного остатка. По сравнению с кривой 1, кривая 2 имеет более плавный вид. Для кривой 2 на участке подъёма до достижения конечной температуры 130 °С характерно менее резкое падение выхода древесного остатка. На этапе варки для обеих кривых замечен резкий ход в начале варки, и более плавный к концу варки. На подъёме растворяется больше компонентов древесины: температура выступает в качестве решающего фактора, по сравнению с концентрацией гидроксида калия. При температуре варки 140 °С процесс разделения древесины на волокна в системе гидроксид калия – гидразин – изобутиловый спирт – вода начинается примерно через 40 мин после начала подъёма температуры до конечной (или 10 мин с начала варки на конечной температуре) и завершается около 1 ч 10 мин варки (рисунок 1 а).

Отмечено падение выхода древесного остатка с 62 % до 54 %. Для варки при температуре 130 °С начиная с 1 ч 40 мин варки происходит распад древесины на волокна, причём полностью древесина распадается на волокна ориентировочно до 2 ч 10 мин (рисунок 1 б).

При вскрытии автоклава с продолжительностью варки 2 ч 30 мин (с учётом подъёма температуры в течение 30 мин) непровар не обнаружен. Выход при этом падает с 57 % до 54 %. Наибольшее растворение компонентов древесины происходит в период подъёма температуры. За время варки на конечной температуре 140 °С растворилось 17,5 % древесного вещества, а при температуре 130 °С – 23,0 %. Кривые растворения для лигнина (сумма твёрдого и кислоторастворимого) приведены на рисунке 3). В раствор переходит на этапе пропитки 6 % лигнина (при концентрации пропиточного раствора 110 г/ K_2O $дм^3$) и на этапе подъёма температуры и варки 72 % (при температуре варки 140 °С); и, соответственно, 9 % (при концентрации пропиточного раствора 140 г/ K_2O $дм^3$) и на этапе подъёма температуры и варки 74 % (при температуре варки 130 °С).

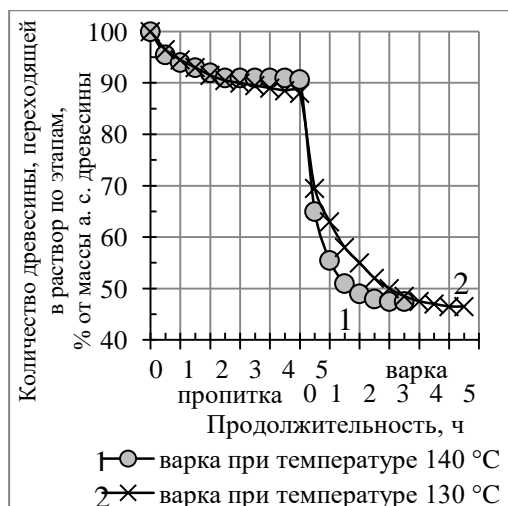


Рисунок 2 – Количество древесины, переходящей в раствор по этапам в зависимости от продолжительности процесса и температуры варки

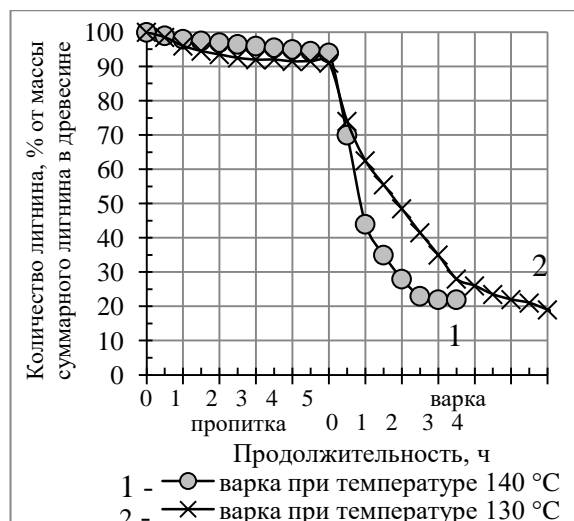


Рисунок 3 – Количество лигнина в древесном остатке или целлюлозе в зависимости от продолжительности процесса и температуры варки

На рисунке 4 представлено количество пентозанов в древесном остатке (или целлюлозе) по этапам. Пентозаны обладают свойством неограниченно набухать под воздействием щелочных растворов и переходить в раствор, являются нестойкими и переходят в раствор, поэтому, несмотря на низкую температуру пропитки происходит переход пентозанов в пропиточный раствор, и тем больше, чем выше его концентрация. В раствор переходит на этапе пропитки 34 % пентозанов (при концентрации пропиточного раствора $110 \text{ г/К}_2\text{О дм}^3$) и на этапе подъема температуры и варки 41 % (при температуре варки 140°C); и, соответственно, 36,5 % (при концентрации пропиточного раствора $140 \text{ г/К}_2\text{О дм}^3$) и на этапе подъема температуры и варки 33,0 % (при температуре варки 130°C).

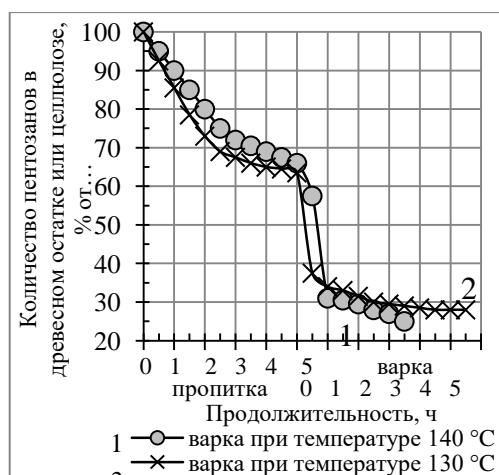


Рисунок 4 – Количество пентозанов в древесном остатке или целлюлозе в зависимости от продолжительности процесса и температуры варки

Для исследования пригодности использования отработанных щелоков в качестве удобрений проведены испытания по выявлению зависимости всхожести семян горчицы и роста её всходов. Водный слой щелоков без дополнительной обработки смешивали с образцами почвы и торфа. Показано, что при использовании в качестве удобрений отработанных калийных щелоков всхожесть увеличивается на 20 %.

Установлено, что на этапе пропитки основным фактором, влияющим на растворение древесного вещества, лигнина и пентозанов является концентрация гидроксида калия в пропиточном растворе, на этапе варки – конечная температура варки. Изменяя основные факто-

ры варки – концентрацию раствора гидроксида калия, задаваемого на пропитку и конечную температуру варки, можно добиться одинакового содержания остаточного лигнина в целлюлозе, получая при этом преимущество либо в снижении температуры варки, либо в снижении продолжительности процесса. Показано, что при смешивании отработанных калийных щелоков с почвогрунтом всхожесть семян горчицы увеличивается на 20 %.

Список литературы

1. Huang, G. Environmentally friendly pulping of rice straw to eliminate black liquor discharge / G. Huang, X. Liang, Z. Chen, C. Li // TAPPI Journal, August 2010. – P. 7 – 12.
2. Xiao, C. Soil Microbial Responses to Potassium-Based Black Liquor from Straw Pulping / C. Xiao, M. Fauci, D. F. Bezdicek, W. T. McKean, W. L. Pan // Soil Science Society of America Journal. – 2006. – Vol. 70, N 1. – P. 72 – 77.
3. Непенин, Ю. Н. Технология целлюлозы. В 3-х т. Т. 2. Производство сульфатной целлюлозы: учебное пособие для вузов / Ю. Н. Непенин – 2-е изд., перераб. – М: Лесная промышленность, 1990. – 600 с.
4. Удальцов, В. А. К вопросу о делигнификации древесины берёзы в системе гидроксид калия – гидразин – изобутиловый спирт – вода / В. А. Удальцов, Г. А. Пазухина // ИВУЗ «Лесной журнал» № 4/346.–Архангельск: С(А)ФУ им. М. В. Ломоносова, 2015.–С. 156 – 165.

УДК 676.163.4

УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ОТ ХИМИЧЕСКОЙ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

Хакимова Ф.Х.¹, Носкова О.А.¹, Житнюк В.А.², Пирожкова Ю.В.¹

¹ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь

²Группа предприятий «Пермская целлюлозно-бумажная компания», г. Пермь

Ключевые слова: древесные отходы, березовые опилки, древесная стружка, варка, нейтрально-сульфитная полуцеллюлоза, показатели качества.

Аннотация. Показано, что древесные отходы (березовые опилки) ПЦБК могут служить сырьем для получения нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы как по непрерывной, так и по периодической технологии. Показатели выхода и качества получаемой полуцеллюлозы соответствуют показателям полуцеллюлозы ПЦБК из технологической щепы. Древесные отходы (стружка) двух предприятий Пермского края могут служить сырьем для получения нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы в смеси с опилками ПЦБК.

DISPOSAL OF WASTE FROM CHEMICAL AND MECHANICAL WOOD PROCESSING

Khakimova F. H.¹, Noskova O.A.¹, Zhitniuk V.A.², Pirozhkova Y.V.¹

¹Perm National Research Polytechnic University, Perm

²Group of enterprises "Perm pulp and paper company", Perm

Key words: wood waste, birch sawdust, wood chips, cooking, neutral sulfite semichemical pulp, quality indicators.

Abstract. It is shown that wood waste (birch sawdust) from PCBK can serve as a raw material for the production of neutral sulfite semichemical pulp both continuous and periodic technology. The yield and quality of the resulting product correspond to the characteristics of PCBK semichemical pulp with using industrial chips. Wood waste (sawdust) from two enterprises of

the Perm region can serve as a raw material for the production of neutral sulfite semichemical pulp mixed with sawdust from PCBK.

Россия – одна из ведущих стран по объему заготавливаемой древесины. При существующих способах переработки древесного сырья в целом по России используется около половины биомассы дерева [1]. Большие потери древесины приходится на опилки и стружки – отходы лесопиления (~ 10%) и подготовки древесины в производстве целлюлозы (5÷10%) [2]. Одним из современных требований рационального природопользования и охраны окружающей среды является комплексное использование древесного сырья путем максимальной утилизации отходов лесозаготовки и переработки древесного сырья. Особого внимания заслуживает использование опилок и стружки [3].

Исследования в этой области ведутся не один десяток лет, однако проблема рационального использования древесных отходов сохраняет свою актуальность [4]. Замена первичного сырья (стволовой древесины) древесными отходами имеет наряду с экономическим и экологическое значение за счет предотвращения ущерба, наносимого окружающей среде при неиспользуемых отходах, и сохранения от вырубок значительных лесных массивов [5]. Наиболее идеальным считается стремление предприятий к безотходному производству. К сожалению, в целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности России такие производства отсутствуют [6].

В настоящее время на Урале существуют предприятия, занимающиеся проблемой переработки древесных отходов. К ним можно отнести предприятия Пермского края, вплотную занявшиеся утилизацией древесных отходов с получением полезного продукта – полуфабриката для использования в производстве картона. Это Пермский ЦБК, Гремячинский ДОК и Юго-Камский ДОК. В целом общие тенденции использования древесных отходов в России и за рубежом характеризуется топливно-энергетической направленностью [7].

В России есть опыт производства из древесных отходов (опилок) сульфатной целлюлозы для картона. Так, на Усть-Илимском ЛПК действует варочная установка непрерывного действия по варке сульфатной целлюлозы, но для реализации этого варианта необходимо было внедрение в практику лесопиления пил специального профиля, дающих крупные опилки в форме стружки. Таким образом, актуальность, экономическая и экологическая целесообразность и эффективность утилизации древесных отходов целлюлозных производств не вызывают сомнений.

Объектом исследования являлись древесные отходы химической переработки березовой древесины на ПЦБК, два образца стружек: из хвойной древесины и из смеси хвойной и лиственной древесины – ели и осины деревообрабатывающих комбинатов (соответственно Гремячинского и Юго-Камского ДОК) Пермского края.

Березовые отходы представляют собой опилки – отходы от получения из балансовой березовой древесины технологической щепы для производства нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы (НСПЦ). Березовые опилки оказались довольно однородными по размерам и их использовали для получения полуцеллюлозы без дополнительного сортирования.

Образцы древесных стружек ДОК сортировали через сито с отверстиями диаметром 3 мм для отделения от стружки, пригодной для получения волокнистого полуфабриката, очень мелкой фракции (опилок). Для варки НСПЦ использован производственный варочный раствор ($\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{NaOH}$ или NH_4OH) ПЦБК состава: всего SO_2 – 6,7-7,7 %; связанного SO_2 – 2,9-3,4 %; $\text{pH} = 10,17$ -10,58. Исследования по получению НСПЦ из древесных отходов Пермского ЦБК (березовых опилок) проводили в двух направлениях – по непрерывной и периодической технологии. Операции непрерывной технологии соответствовали существующим в настоящее время на предприятии при получении НСПЦ на установке «Дефибратор».

Процесс варки полуцеллюлозы **по непрерывной технологии** включал следующие операции: в автоклаве – **пропитка** древесных опилок варочным раствором и **варка**; **горячий размол** полученной полуцеллюлозы в центробежном размалывающем аппарате ЦРА; промывка и сортирование полуцеллюлозы в двухситовой установке.

Условия процессов аналогичны условиям варки на ПЦБК (таблица 1). За оптимальный принят режим, по которому получены высокие результаты по выходу и механическим показателям при соблюдении требований по степени помола.

Таблица 1

Результаты варок березовых опилок ПЦБК по технологии непрерывной варки

Условия варки и показатели полуцеллюлозы	Оптимальный режим и величины показателей ПЦ		Нормы по регламенту ПЦБК для полуцеллюлозы из щепы
Условия варки:			
пропитка:			...
- подъем температуры до 100 °С, мин	40		
- стоянка при температуре 100 °С, мин	15		15-20 (пропарка), 10 (пропитка)
собственно варка:			
- подъем температуры до 156 °С, мин	60		168-175
- варка при температуре 156 °С, мин	20		32-40
Степень помола после горячего размола, °ШР	14		9-11
Продолжительность (τ) холодного размола (в ЦРА), мин	5	5,5	...
Показатели полуцеллюлозы:			
- выход общий (непровара мало), % от абс.сух.др-ны	67,9	67,9	не менее 70
- степень помола, °ШР	24	29	24-33

Как следует из данных таблицы 1, конечная температура варки в этой серии опытов (и в дальнейших исследованиях) составила 156 °С (возможности лабораторного автоклава).

Полученная полуцеллюлоза размалывается легко (в ЦРА 5,0-5,5 мин, что примерно в 4 раза меньше, чем для сульфитной и сульфатной целлюлозы). Выход полуцеллюлозы 67-68 %, т.е. ниже, чем НСПЦ из щепы, так как полуцеллюлоза получена из очень мелкого сырья. По механическим показателям все полученные образцы полуцеллюлозы удовлетворяют нормам ПЦБК для полуцеллюлозы из щепы.

В настоящее время на ПЦБК НСПЦ получается в установках непрерывного действия высокой производительности (по 130 т/сут каждая). Представляет интерес возможность и целесообразность получения НСПЦ из древесных отходов предприятия по периодическому способу, позволяющему изменять производительность потока в широких пределах. Изучены режимы пропитки и варки опилок, холодного размола полученной полуцеллюлозы. Условия варок и результаты данной серии опытов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты варки березовых опилок ПЦБК по технологии периодической варки

Условия варки и показатели полуцеллюлозы	Режим и величины показателей образцов ПЦ	Нормы по регламенту ПЦБК для ПЦ из щепы
Условия варки:		
- подъем температуры от 40 до 156°С (пропитка), мин	85	На ПЦБК варка полуцеллюлозы непрерывная
- варка при температуре 156°С, мин.	30	
Продолжительность (τ) холодного размола (в ЦРА), мин.	5,0-5,5	...
Показатели полуцеллюлозы:		
- выход (общий), %	75,0-75,5	не менее 70
- степень помола, °ШР	24-27	24-33
- разрывная длина (100 г/м ²), м	8040-8190	не менее 5000

В результате исследований получен необычный короткий режим получения НСПЦ по периодической технологии: (см. таблицу 2). Варки по принятому нами сокращенному режиму дали весьма положительные результаты. Образцы полуцеллюлозы получены с высокими показателями выхода и разрывной длины. Все образцы полуцеллюлозы размалываются легко (продолжительность размол в ЦРА до 24-27 °ШР составила 5,0-5,5 мин).

Эффективность такой технологии с кратковременной варкой (30 мин) объясняется локализацией лигнина листовенной древесины в клеточной стенке. Лигнин листовенной древесины практически полностью сосредоточен в срединной пластинке, благодаря чему такой кратковременной варки достаточно для получения при дальнейшем размолу щепы полуцеллюлозы хорошего качества.

Для более полной характеристики полученных образцов полуцеллюлозы из березовых опилок для ряда образцов (таблица 3) определен полный набор показателей механической прочности (определены в исследовательской лаборатории ПЦБК).

Из данных таблицы 3 следует, что образцы полуцеллюлозы, полученные из опилок по периодической технологии и короткому режиму, по всем показателям качества соответствуют нормам по регламенту ПЦБК для полуцеллюлозы из технологической щепы.

Таблица 3

Механические показатели образцов полуцеллюлозы из березовых опилок Пермского ЦБК, полученных по предлагаемой периодической технологии

Показатели полуцеллюлозы	Значения показателей ПЦ из опилок ПЦБК	Нормы по регламенту ПЦБК для ПЦ из щепы
Степень помола, °ШР	32-33	27-33
Сопротивление продавливанию, кПа	433-484	Не менее 290
Разрывная длина, м	6300-6350	Не менее 5000
Удельное сопротивление разрыву, кН/м	8,36-8,47	Не менее 8,00
Сопротивление плоскостному сжатию, Н	362-380	Не менее 310
Сопротивление торцовому сжатию, кН/м	2,80-2,82	0,70-1,55 для марки Б-1
Разрушающее усилие при сжатии кольца, Н	353-387	...

На следующем этапе работы изучали возможность и целесообразность получения НСПЦ с использованием всех принятых для исследования образцов древесных отходов: березовых опилок ПЦБК, стружки из хвойной древесины (ели) и стружки из смеси хвойной и листовенной древесины (ели и осины) Пермских ДОК.

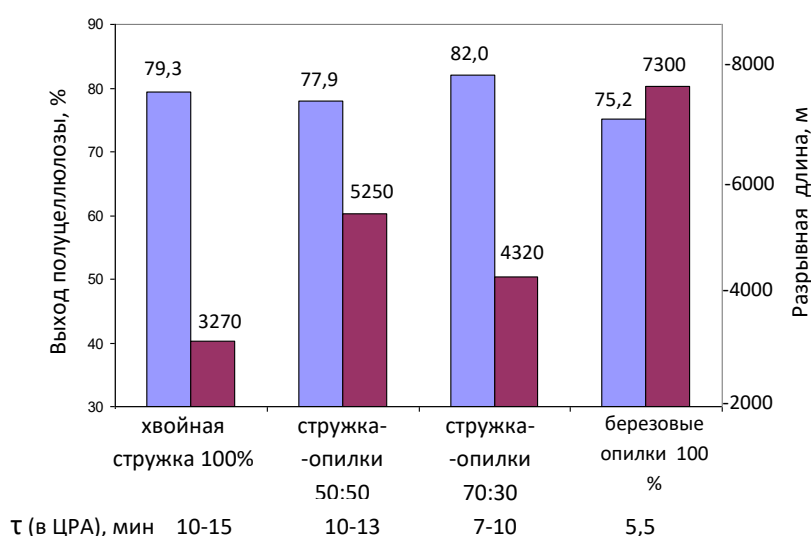


Рис. 2. Показатели полуцеллюлозы, полученной из смеси березовых опилок и хвойной стружки (при степени помола 25-32 °ШР)

■ – выход полуцеллюлозы, %; ■ – разрывная длина, м.

Для получения НСПЦ приняты различные композиционные составы исходного сырья. Результаты варок смесей березовых опилок со стружками Пермских ДОК приведены на рисунках 1 и 2. Из рисунка 1 следует, что из стружки хвойно-лиственной древесины может быть получена полуцеллюлоза с выходом 80 %, однако показатели механической прочности значительно уступают показателям полуцеллюлозы из березовых опилок.

На рисунке 2 представлены результаты получения НСПЦ из хвойной стружки ДОК самостоятельно и в смеси с опилками ПЦБК в различных соотношениях. Однако из стружки Гремячинского ДОК НСПЦ получается низкого качества – при выходе полуцеллюлозы 79 % разрывная длина образца полуцеллюлозы составила 2750-3790 (ср. 3270) м в зависимости от степени помола (26-31 °ШР). При варке хвойной стружки с добавлением березовых опилок ПЦБК прочность получаемой полуцеллюлозы заметно улучшается и только при соотношении их 50:50 получается полуцеллюлоза с показателями выхода и разрывной длины, соответствующими нормам ПЦБК для полуцеллюлозы из щепы.

Связано это с тем, что хвойная древесина в нейтральной среде не проваривается, т.к. в этих условиях сульфонированию может подвергаться только 30 % лигнина (группа А). В первую очередь по этой причине на практике из хвойной древесины нейтрально-сульфитную полуцеллюлозу не получают. В условиях варки НСПЦ из хвойной древесины получается, вероятно, химико-термомеханическая масса. По этой же причине механическая прочность полуцеллюлозы с увеличением количества хвойной древесины в исходном сырье снижается.

Таким образом, стружка Гремячинского ДОК также может служить сырьем для получения НСПЦ в смеси с опилками ПЦБК в соотношении 50:50 - при выходе 78 % получается довольно высокие показатели разрывной длины (5250 м).

Из данных рисунков 1 и 2 следует, что полуцеллюлоза из березовых опилок ПЦБК размалывается значительно (примерно в 2 раза) легче, т.е. с меньшим расходом энергии, чем полуцеллюлоза, полученная с включением в композицию стружек ДОК.

Основное неудобство работы со стружкой – она рыхло укладывается в автоклаве (котле), поэтому требуется дополнительное уплотнение. Таким образом, фракция «стружка» древесных отходов ДОК Пермского края (хвойная и хвойно-лиственная) может служить сырьем для получения НСПЦ - сырья для производства картона - в смеси с березовыми опилками ПЦБК в соотношении 50:50. При этом получается полуцеллюлоза, показатели выхода и механической прочности которой близки к соответствующим показателям полуцеллюлозы ПЦБК из березовой щепы.

Получены опытные образцы полуцеллюлозы из опилок ПЦБК.

В исследовательской лаборатории ПЦБК проведены исследования по использованию полуцеллюлозы из опилок в композиции картона совместно с НСПЦ из щепы и макулатурной массой (ММ) из производственного потока ПЦБК.

Результаты исследований: опытный полуфабрикат – полуцеллюлоза, полученная на кафедре ТЦБП из березовых опилок ПЦБК – имеет высокие исходные прочностные показатели; показана возможность использования полуфабриката из опилок в композиции картона (КПС) и бумаги для гофрирования без снижения прочностных характеристик. Выводы и рекомендации.

1. Показано, что древесные отходы (опилки из березовой древесины) ПЦБК могут служить сырьем для получения НСПЦ как по непрерывной, так и по периодической технологии. Процесс получения ПЦ трудностей не вызывает.

2. Показатели качества получаемой ПЦ при предлагаемых условиях при выходе 75 % соответствуют показателям ПЦ ПЦБК из технологической щепы.

3. Опытные испытания: полуфабрикат из опилок получен на кафедре ТЦБП; испытания проведены в исследовательской лаборатории ПЦБК; результаты - полуфабрикат имеет высокие прочностные показатели и с успехом может быть применен в композиции бумаги для гофрирования и картона ПЦБК без снижения их прочностных характеристик.

4. Исследованные образцы стружек предприятий ДОК Пермского края могут быть использованы для получения НСПЦ в смеси с опилками ПЦБК в соотношении 1:1.

Список литературы

1. Беловежец Л.А., Волчатова И.В., Медведева С.А. Перспективные способы переработки вторичного лигноцеллюлозного сырья // Химия растительного сырья. 2010, № 2. С. 5-16.

2. Андреев А.А. Ресурсосбережение и использование отходов заготовки и переработки древесного сырья // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. 2014, № 10. С. 148-155.
3. Комплексное устойчивое управление отходами. Деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность: учеб. пособие / Н.И. Альберг, и др.; под ред. Н.И. Альберг – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2016. – 308 с.
4. Журавлёва Л.Н., Девятловская А.Н. Основные направления использования древесных отходов// Актуальные проблемы лесного комплекса. 2007, №18. С. 96-99.
5. Сафин Р.Г., Саттарова З.Г. и др. Современные направления переработки лесных ресурсов // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18, № 21. С. 90-93.
6. Безруких Ю.А., Медведев С.О., Алашкевич Ю.Д., Мохирев А.П. Рациональное природопользование в условиях устойчивого развития экономики промышленных предприятий лесного комплекса// Экономика и предпринимательство. 2014, № 12-2. С. 994-996.
7. Васильева Т.В. Обзор сложившихся тенденций использования древесных отходов за рубежом // Лесной вестник. 2002, № 4. С. 71-73.

УДК 674.812

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ПРОЕКТ ВИБРАЦИОННОГО УПЛОТНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЩЕПЫ В ВАРОЧНОМ КОТЛЕ

Попов В.В.¹, Сиваков В.П.¹

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический
университет», г. Екатеринбург

Ключевые слова: вибровозбудитель, виброуплотнение, виброскорость, вибрация.

Аннотация. Выполнено исследование вибрационного уплотнения технологической щепы в варочном котле. Выполнены расчеты распространения вибрационных волн в технологической щепе.

RESEARCH PROJECT VIBRATORY COMPACTION TECHNOLOGICAL WOOD CHIPS IN THE DIGESTER

Sivakov V.P.¹, Popov V.V.¹

¹Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg

Key word: Vibration exciter, vibration compression, vibration velocity, compaction, vibration, elastic-viscous.

Abstract. The study of vibration compaction of technological chips in the digester. The calculations of the propagation of vibration waves in the technological chips.

Для выбора характеристик вибрации при обработке материала частоты вибровозбудителя регулировались в интервале 10...75 Гц. При частотах вибрации ниже 15 Гц инерционным вибратором генерировались малые вынуждающие силы, быстро затухающие в толще материала. Максимальные уровни вибрации в материале наблюдались при частотах вибровозбудителя 20...40 Гц. Увеличение частоты вынуждающей силы от 40 до 75 Гц сопровождалось незначительным (до 5 %) возрастанием уровня вибрации технологической щепы при больших энергетических затратах на виброуплотнение.

Распространение вибрации в щепе зависит от направления бегущей волны. В горизонтальном направлении вынуждающая сила от вибровозбудителя генерирует в технологической щепе вибрацию в диапазоне 10...250 Гц с преобладающей интенсивностью в октавной полосе со сред негеометрической частотой 16 Гц. В вертикальном направлении от вибровоз-

будителя в технологической щепе возбуждается вибрация в частотном диапазоне 10...375 Гц с преобладающими уровнями в октавах со среднегеометрическими частотами 16 и 31,5 Гц.

Контуры вибрационного поля в горизонтальной плоскости имеют симметричную форму, в вертикальной – несимметричную. Вибрационные волны от вибратора из глубины материала к поверхности затухают быстрее, чем от источника вибрации вглубь уплотняемого материала. Распространение волн вибрации в технологической щепе в горизонтальном ОХ и вертикальном ОZ направлениях характерно для соотношения $l_3 \ll l$, где l_3 – расстояние от оси вибратора до стенки В.К. Длина поля эффективной вибрационной обработки щепы определялась экспериментально из условия снижения общего уровня виброскорости до V_{min} , при котором прекращалось уплотнение. Принималось, что уплотнение щепы не происходит, если ее начальный объем не изменялся после обработки в течение 1 мин. Экспериментально установлено, что уплотнение технологической щепы прекращается при $V_{min} \leq 2,2$ мм/с. Измерение расстояния от вибратора до вибропреобразователя в направлении распространения волны установлено, что $l_3 = 1600$ мм при виброскорости на поверхности вибровозбудителя $V_l = 35...50$ мм/с.

При вибрационной обработке технологическая щепа подвергается периодическому сдвиговому деформированию. Установлено, что крошение технологической щепы минимально при вибрационной обработке со среднегеометрическими частотами 16 и 31,5 Гц и виброскоростью до 40 м/с, вызывающей малые деформации. Для предотвращения крошения щепы при сдвиговом деформировании вибрационная обработка производилась в узком диапазоне изменения вибрационных характеристик, отвечающим малым деформациям и малым скоростям деформации.

Изменения упруговязких свойств сыпучих материалов в области малых деформаций можно рассматривать как линейные. Для линейных упруговязких материалов соотношение между рассеянной и запасенной энергиями щепы, подвергаемой вибрационной обработке, характеризуется тангенсом угла потерь. Технологической щепе колебаний за счет вибрационных импульсов отдельным частицам материала сообщаются разные скорости и ускорения. Вследствие индивидуальных вибрационных характеристик частиц материала происходит укладка щепы в пределах вибрационного поля (рисунок 1).

Эффективность вибрационного уплотнения щепы зависит от времени вибрационной обработки, глубины погружения вибраторов в материал, направления и характеристик вибрации.

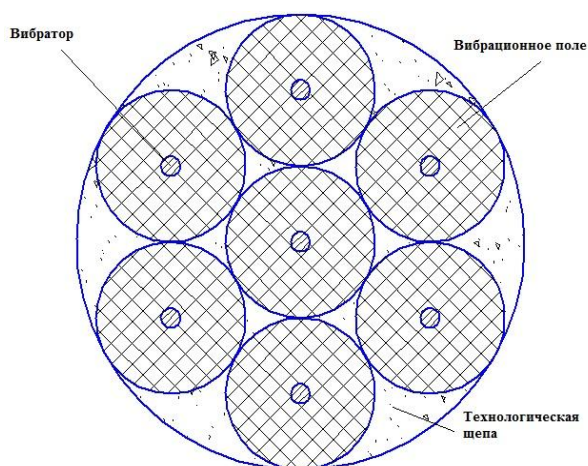


Рисунок 1– Схема вибрационного уплотнения

Характеристики распространения волн вибрации в технологической щепе приведены в таблице 1.

Общее затухание виброскорости на $l_3 \propto 0 = V_1/V_{min}$, где V_{min} – виброскорость в щепе на расстоянии l_3 от вибровозбудителя.

Среднее затухание вибрации в октавной полосе преобладающей интенсивности колебаний

$$n - 1_i = 1V_i + 1 ,$$

где n – число i -х точек контроля виброскорости на длине l_3 ; V_i – виброскорость технологической щепы в i -й контрольной точке.

Логарифмический декремент колебаний определялся приблизительно по формуле

$$D = \ln (V_i/V_{min}) .$$

Таблица 1

Экспериментальные характеристики распространения волн вибрации в технологической щепе

Характеристика	Величина характеристики в зависимости от направления волны	
	горизонтальное	вертикальное
Общее затухание виброскорости α_0 на l_3	8,30	7,90
Среднее затухание виброскорости α на l_3	2,00	2,32
Кинетическая энергия $T_{зj}$, Дж	0,27	0,27
Кинетическая энергия T_{pj} , Дж	0,21	0,23
Угол потерь δ_i , рад.	0,66	0,71

При вибрационной обработке технологическая щепа подвергается периодическому сдвиговому деформированию. Установлено, что крошение технологической щепы минимально при вибрационной обработке со среднегеометрическими частотами 16 и 31,5 Гц и виброскоростью до 40 м/с, вызывающей малые деформации. Для предотвращения крошения щепы при сдвиговом деформировании вибрационная обработка производилась в узком диапазоне изменения вибрационных характеристик, отвечающим малым деформациям и малым скоростям деформации. Изменения упруговязких свойств сыпучих материалов в области малых деформаций можно рассматривать как линейные [1].

Для линейных упруговязких материалов соотношение между рассеянной и запасенной энергиями щепы, подвергаемой вибрационной обработке, характеризуется тангенсом угла потерь

$$\operatorname{tg} \delta_i = T_{pj}/T_{зj}, j = x, z,$$

где $T_{pj} = (m_b + m_{щ})V_{pj}^2 / 2$ – кинетическая энергия, рассеянная в зоне вибрационной обработки щепы; $T_{зj} = (m_b + m_{щ})V_{1j}^2 / 2$ – кинетическая энергия, запасенная щепой в зоне вибрационной обработки; m_b – масса вибровозбудителя; $m_{щ}$ – масса щепы, подвергающаяся эффективной вибрационной обработке; $V_{pj} = V_{1j}^{(1-1/\delta_i)}$ – градиент (потери уровня) виброскорости при прохождении волн вибрации от вибровозбудителя до границ поля эффективной обработки щепы; V_{1j} – виброскорость вибровозбудителя.

Масса щепы определялась приближенно в предположении, что объем эффективной вибрационной обработки имеет форму шара с радиусом l_3 . $m_{щ} = 1/6\gamma\pi l_3^3$, где γ – плотность технологической щепы.

Экспериментальные характеристики распространения волн вибрации в технологической щепе приведены в таблице. Запасенная и рассеянные энергии в объеме вибрационной обработки (таблица) являются величинами одного порядка. При таком соотношении кинетических энергий виброобрабатываемый сыпучий материал находится в фазе перехода от неподвижного состояния в «вязкотекучее» [1].

Затухание колебаний по длине и глубине технологической щепы происходит по экспоненциальному графику (рисунок 2). Энергия колебаний при этом рассеивается в слое материала, толщина которого меньше l .

Вибрация в объеме щепы возбуждает продольные волны. При распространении вибрации в щепе происходит их затухание, обусловленное диссипативными процессами, связанными со сдвиговой и объемной вязкостью щепы. Первой причиной затухания волн являются

структурные, происходящие внутри частиц материала, необратимые процессы, сопровождающиеся рассеиванием энергии. Под воздействием структурных процессов, происходит их разрушение или деформация. Вторая причина затухания вибрации в щепе связана с процессом трения между частицами в материале.

При распространении в технологической щепе колебаний за счет вибрационных импульсов отдельным частицам материала сообщаются разные скорости и ускорения. Вследствие индивидуальных вибрационных характеристик частиц материала происходит укладка щепы в пределах вибрационного поля.

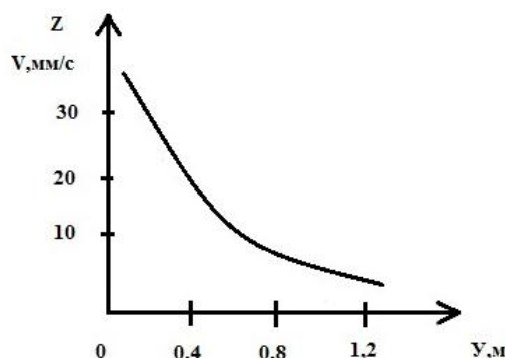


Рисунок 2— График распространения виброскорости в технологической щепе

Эффективность вибрационного уплотнения щепы зависит от времени вибрационной обработки, глубины погружения вибраторов в материал, направления и характеристик вибрации [3]. Уплотнение щепы в цилиндрическом резервуаре с открытой поверхностью при пятиминутной вибрационной обработке повысило степень наполнения в 1,25 раза.

Если заменить в варочном котле паровой уплотнитель на вибрационный, упадут затраты на уплотнение технологической щепы.

Выводы.

1. Определена зависимость уплотнения технологической щепы от параметров вибрации погружного вибровозбудителя.
2. Выбран диапазон вибрационного воздействия (ΔV , ΔT) на технологическую щепу, при котором щепы не подвержена крошению.
3. Установлен график распространения волн вибрации в технологической щепе.
4. Предусмотрен вариант установки вибраторов в поперечном сечении варочного котла при вибрационном уплотнении щепы.

Список литературы

1. Басов, Н.И. Виброформование полимеров / Н.И. Басов, С.А. Любартрович, В.А. Любартрович. – Л.: Химия, 1979. – 160 с.
2. Сиваков, В.П. Вибрационное уплотнение технологической щепы / В.П. Сиваков // Машины и аппараты целлюлозно-бумажного производства: Межвуз. сб. научн. тр. – СПб.: СПбГТУРП, 1997. – С. 17–20.
3. Патентный поиск и изыскание технических решений по вибрационной интенсификации уплотнения щепы в варочных котлах: Отчет о НИР / УЛТИ; Научный руководитель Сиваков В.П. № 27/86; № Гр.01860006621; Инв. № 02.87.0024350. Свердловск. 57 с.

УДК 691.168

ПРИМЕНЕНИЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ ДОБАВОК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОКРЫТИЙ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

Чудинов С.А.¹

¹ФГБОУ ВО Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург

Ключевые слова: автомобильные дороги, асфальтобетон, целлюлозная добавка, стабилизатор, асфальтовяжущее.

Аннотация. Стабилизирующие добавки в составе щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей позволяют препятствовать сегрегации и стеканию битумного вяжущего в процессе транспортирования, промежуточного хранения и укладки материала. Благодаря особенностям макроструктуры целлюлозные волокнистые добавки используются в качестве стабилизирующих добавок. Показаны преимущества и перспективы применения целлюлозных волокнистых добавок для производства щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей.

APPLICATION OF CELLULOSE FIBROUS ADDITIVES TO IMPROVE THE QUALITY OF COATINGS OF WOODLAND ROADS

Chudinov S.A.¹

¹Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg

Key words: highways, asphalt concrete, cellulose additive, stabilizer, asphalt binder.

Abstract. Stabilizing additives in the composition of macadam-mastic asphalt concrete mixtures can prevent segregation and runoff of the bituminous binder in the process of transportation, intermediate storage and laying of the material. Due to the characteristics of the macrostructure, cellulosic fiber supplements are used as stabilizing additives. The advantages and prospects of the use of cellulose fiber additives for the production of stone mastic asphalt concrete mixtures are shown.

Одним из важнейших факторов устойчивого функционирования и развития лесоперерабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности является надежность и эффективность работы транспортного комплекса. Транспортировка древесного сырья и готовой продукции осуществляется в основном автомобильным транспортом, поэтому технологии строительства и эксплуатация лесовозных автомобильных дорог должны отвечать современным требованиям по долговечности и транспортно-эксплуатационным показателям в период круглогодичной работы [1]. Верхние слои дорожных одежд лесных дорог, в особенности магистральных, непосредственно испытывают максимальное действие от нагрузок движущегося транспорта и природно-климатических факторов и поэтому устраиваются из наиболее прочных и долговечных дорожно-строительных материалов.

Щебеночно-мастичный асфальтобетон благодаря своим высоким физико-механическим характеристикам, транспортно-эксплуатационным показателям и долговечности в особенности в тяжелых условиях работы большой интенсивности и грузонапряженности в настоящее время широко используется в дорожном строительстве. В качестве основных компонентов в состав щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей (ЩМАС) входит каркас из прочного щебня с улучшенной (кубовидной) формы зерен, удерживаемый битумом со стабилизирующей добавкой. Стабилизирующие добавки позволяют препятствовать сегрегации и стеканию битумного вяжущего в процессе транспортирования, промежуточного хранения и укладки ЩМАС [2].

В качестве стабилизирующих добавок в ЩМАС применяются различные минеральные, органические и полимерные материалы. Благодаря особенностям макроструктуры целлюлозные волокнистые добавки (ЦВД) используются в производстве ЩМАС. Процесс распределения ЦВД в битуме можно представить следующим образом. Под действием температуры и вследствие проникновения компонентов битума внутрь гранул ЦВД, они набухают и при механическом перемешивании распадаются. Процесс набухания состоит в пропитывании волокон битумом. Способность целлюлозы к набуханию определяется её составом и строением.

Целлюлоза является природным полимером и представляет собой волокнистое вещество фибриллярной капиллярно-пористой структуры. В процессе перемешивания структурные элементы битума реагируют с макромолекулами волокон и вступают с ними в адсорбционное взаимодействие внутри волокон на свободных поверхностях элементарных фибрилл. При взаимодействии с битумом, имеющем температуру 140 -160 °С, волокна целлюлозы увеличиваются в объеме и битум проникает внутрь волокон. Благодаря перемешиванию и однородному распределению образуется битумо-целлюлозная микроструктура в асфальто-вяжущем. Набухшие целлюлозные волокна, наполненные битумом, образуют разветвленные пространственные структуры, расположенные между зернами минерального порошка, что обеспечивает удержание ориентированного и объемного битума [3].

Для применения в качестве стабилизирующей добавки целлюлозное волокно должно иметь ленточную структуру нитей длиной от 0,1 мм до 2,0 мм. Волокно должно быть однородным и не содержать пучков, скоплений нераздробленного материала и посторонних включений. По физико-механическим свойствам целлюлозное волокно должно соответствовать значениям, указанным в таблице 1 [4]. В целях удобства транспортировки и дозирования в процессе приготовления ЩМАС стабилизирующие добавки на основе целлюлозы изготавливают в виде сыпучих гранул путем их гранулирования с битумом в соотношении 66/34 % (рисунок 1).

Таблица 1

Физико-механические свойства целлюлозного волокна

Наименование показателя	Значение показателя
Влажность, % по массе, не более	8,0
Термостойкость при температуре 220 °С по изменению массы при прогреве, %, не более	7,0
Содержание волокон длиной от 0,1 мм до 2,0 мм, %, не менее	80

В таблице 2 представлены результаты лабораторных исследований ЩМАС-20 со стабилизирующей добавкой на основе целлюлозы Viator 66, проведенных в лаборатории ООО «Асфальт+Бетон».



Рисунок 1– Стабилизирующая добавка для ЩМАС Viator 66 на основе целлюлозы

Таблица 2

Физико-механические показатели ЦМАС

Наименование показателя	ГОСТ 31015-2002	ЦМАС-20 со стабилизирующей добавкой Viatop 66
Водонасыщение, %	1,0-4,0	1,61
Средняя плотность, г/см ³	не норм.	2,52
Сдвигоустойчивость: коэффициент внутреннего трения	>0,93	0,951
сцепление при сдвиге при 50°C, МПа	>0,18	0,25
Предел прочности при сжатии при 50°C, МПа	>0,65	0,92
Предел прочности при сжатии при 20°C, МПа	>2,2	2,57
Трещиностойкость – предел прочности на растяжение при расколе при 0°C, МПа	2,5-6,0	2,31
Стекание вяжущего, %	≤0,2	0,15
Содержание битума с добавкой, (сверх 100%), %	не норм.	6,2
В том числе содержание добавки, %	не норм.	0,4
Водостойкость при длительном водонасыщении	> 0,85	0,89

Как показывают представленные данные, ЦМАС-20 со стабилизирующей добавкой на основе целлюлозы соответствует требованиям ГОСТ 31015-2002, при этом прочностные показатели материала значительно выше нормативных:

- Коэффициент внутреннего трения выше на 2,3 %.
- Сцепление при сдвиге при 50°C выше на 38,9 %.
- Предел прочности при сжатии при 50°C выше на 41,5 %.
- Предел прочности при сжатии при 20°C выше на 16,8 %.

На основе практического опыта применения ЦМАС в строительстве автомобильных дорог, использование стабилизирующих добавок на основе целлюлозы имеет следующие преимущества:

1. Высокие физико-механические показатели ЦМАС, позволяющие использовать материал во всех дорожно-климатических зонах и в тяжелых условиях высоких транспортных нагрузок.
2. Технологичность использования при приготовлении ЦМАС, точность дозировки и возможность применения на оборудовании асфальтобетонных заводов без дополнительной модернизации.
3. Экологическая безопасность использования.
4. Экономическая эффективность в сравнении с более дорогими минеральными и полимерными стабилизирующими добавками.

Благодаря значительным преимуществам применение стабилизирующих добавок на основе целлюлозы для приготовления, ЦМАС получило в настоящее время большое распространение в дорожном строительстве.

Данные добавки возможно получать как из готового сырья, так и путем утилизации и переработки макулатуры или из отходов целлюлозно-бумажного производства.

Таким образом, применение стабилизирующих добавок на основе целлюлозы имеет большую эффективность в строительстве лесных дорог и автомобильных дорог общего пользования с щебеночно-мастичным асфальтобетонным покрытием, а направление научных исследований по получению и улучшению свойств данных ресурсосберегающих и экологических материалов является актуальным.

Список литературы

1. Чудинов С.А. Адаптационные технологии в строительстве лесовозных дорог в условиях изменения климата / С.А. Чудинов. – Вестник Марийского государственного технического университета. Серия «Лес. Экология. Природопользование». – 2010. – № 2 (9). – С. 76–81. – Библиогр.: с. 81.
2. Инновационные технологии проектирования и строительства автомобильных дорог : монография / Д.Г. Неволин, В.Н.Дмитриев, Е.В. Кошкарлов и др. ; под ред. Д.Г. Неволлина, В.Н. Дмитриева. – Екатеринбург: УрГУПС, 2015. – 192 с.
3. Баранов И.А. Оценка эффективности стабилизирующих добавок для улучшения структуры и свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона: автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук (05.23.05) / Баранов Игорь Александрович; ФГБОУ ВПО Государственный университет – Учебно-научно-производственный комплекс. – Орел, 2015. – 16 с.
4. ГОСТ 31015-2002. Смеси асфальтобетонные и асфальтобетоны щебеночно-мастичные. Технические условия. – 2003-05-01. – М.: МНТКС.

Научное издание

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ
И ТЕХНОЛОГИЙ В ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ
И ЛЕСОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Материалы VII Всероссийской отраслевой научно-практической конференции
г. Пермь, 22-23 апреля 2019 г.



ISBN 978-5-94984-717-6

Редактор Н.В. Куцубина
Оператор компьютерной верстки В.В. Васильев

Подписано в печать 8.08.2019.
Уч.-изд. л. 17,6 Печ. л. 6,04
Тираж 500 экз. (Первый завод 35 экз.)
Заказ №

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»
620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37
Тел.: 8 (343) 262-96-10. Редакционно-издательский отдел

Типография ООО «Издательство УМЦ УПИ»
620062, Екатеринбург, ул. Гагарина, 35а, оф. 2
Тел. (343) 362-91-16
e-mail: 3629116@mail.ru